



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS

JOANA D'ARC ALVES LEITÃO LUNDGREN

**INFLUÊNCIA DO GRADIENTE ALTITUDINAL NA DIVERSIDADE DE
MUCOROMYCOTA EM BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

Recife

2021

JOANA D'ARC ALVES LEITÃO LUNDGREN

**INFLUÊNCIA DO GRADIENTE ALTITUDINAL NA DIVERSIDADE DE
MUCOROMYCOTA EM BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

Trabalho apresentado ao Programa de PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS do DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA da UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Biologia de Fungos. Área de concentração: Taxonomia e Ecologia de Fungos.

Orientador (a): Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago

Coorientador (a): Dr. Carlos Alberto Fragoso de Souza (UFAPE)

Recife

2021

Catálogo na Fonte:
Bibliotecária Natália Nascimento, CRB4/1743

Lundgren, Joana D'arc Alves Leitão.

Influência do gradiente altitudinal na diversidade de mucoromycota em brejos de altitude de Pernambuco . / Recife. – 2021.

85f. : il., fig.

Orientador: André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago.

Coorientador: Carlos Alberto Fragoso de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia de fungos, 2021.

Inclui referências.

1. Mucoromytina. 2. Ecologia. 3. Solo. 4. Taxonomia. I. Santiago, André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo. (Orient.). II. Souza, Carlos Alberto Fragoso de. (coorient.). III. Título.

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2024-116

JOANA D'ARC ALVES LEITÃO LUNDGREN

INFLUÊNCIA DO GRADIENTE ALTITUDINAL NA DIVERSIDADE DE
MUCOROMYCOTA EM BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós- graduação em Biologia de Fungos,
da Universidade Federal de Pernambuco,
como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Biologia de Fungos.

Data de defesa:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago – (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Diogo Paes da Costa – (Examinador Externo)
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Dr. Rafael José Vilela de Oliveira – (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus avós, em especial, ao meu avô, que faleceu enquanto esse trabalho estava sendo finalizado.

AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, “Dona Edite (Maria de Lourdes) e “Seu Quinca” (Joaquim Pedro), e à minha mãe Sandra Cristina que me criaram e apoiaram sempre. Sem a ajuda de vocês não teria sido possível chegar até aqui.

Posso dizer que essa jornada, durante esses anos no mestrado, foram os mais difíceis da minha vida até aqui. Pude contar com todo apoio, amor e companheirismo do meu marido, Victor Lundgren, e da minha mãe.

É gratificante a forma como enxergo hoje todos esses dias cinza e penso em como tudo se encaixa, formando pontes com alguma finalidade. Como conhecer pessoas que somam, divertem, ensinam e contam histórias.

Sou grata aos alunos do Lab.I. Poder compartilhar tantos momentos com vocês me fizeram ser melhor como pessoa. Vocês foram fontes de inspiração, para que eu tenha a paciência e a dedicação de Thalline Cordeiro, Carlos Souza e Diogo Xavier, ao ensinarem; querer ser mais forte, como Catarina Lima, Ana Lúcia (Aninha) e Leslie Freitas; também querer ser mais determinada, como Mateus Cruz, Suzana Brito (Su), Giovanna Cunha (Gio), Natália e Robervânia. Thalline, Diogo, Catarina e Mateus, eu gostaria muito de retribuir tudo que vocês fizeram por mim, desde o auxílio com as coisas da biologia molecular, a amizade, os risos, até os papos da vida. Sou extremamente agradecida por tudo, vocês foram e são muito importantes, obrigada!

Igualmente grata ao André Santiago, pela orientação, oportunidade de conhecer a todos e os Mucoromycota, bem como por todo aprendizado, paciência e apoio oferecidos.

A Diogo Paes, por todo auxílio, paciência, disponibilidade e aprendizado na construção deste trabalho.

A nossa parceria com o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) também foi indispensável para a realização das coletas, análises de dados, assim como para o resultado final. Obrigada, Luciana Gurgel, Waldemar Melo (Deminha) e senhor Edvardo.

Agradeço também os meninos do grupo de fungos endofíticos, Rejane, Juliana, Rafael e Deyse, pela ajuda com algumas análises da biologia molecular.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo suporte financeiro.

Por fim, agradeço ao Fernando Cavalcante, Arão Netto e Evandro Bezerra, foram essenciais

a colaboração e o apoio de vocês para a chegada com cautela aos locais de coleta.

Obrigada a todos!

RESUMO

Os brejos de altitude são encraves de florestas úmidas, formados a partir de mudanças biogeográficas, com até 1.100 m de altitude. Esses ecossistemas são refúgios ecológicos para espécies da mata úmida dentro do Semiárido nordestino. Até o presente, não foram realizados estudos sobre a influência da altitude na diversidade e riqueza de espécies de Mucoromycota nos brejos. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo geral conhecer a influência da altitude na comunidade de Mucoromycota de solo em dois brejos de altitude localizados no Semiárido de Pernambuco. Foram realizadas três coletas de solo em diferentes gradientes de altitude no brejo de altitude da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Benedito e três na Serra do Comunaty, localizados nos municípios de Gravatá e Águas Belas, respectivamente. Para o isolamento dos fungos, foram espalhados três miligramas de solo no meio de cultura ágar germen de trigo, acrescido de cloranfenicol, contido em placas de Petri, em triplicata. Foram isoladas 49 espécies pertencentes aos gêneros *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor*, *Syncephalastrum*, *Rhizopus* e *Umbelopsis*. *Mucor fragilis* e *M. circinelloides* são as espécies mais frequentes na RPPN do Benedito e *A. cornuta*, *Mucor circinelloides* e *C. bertholletiae* são frequentes na Serra do Comunaty. A altitude influencia na diversidade de Mucoromycota na RPPN do Benedito, embora não influencie na abundância desses fungos. Tanto a altitude, como a sazonalidade, influenciam na composição de espécies, frequência relativa e riqueza dos Mucoromycota na RPPN do Benedito. Para a serra do Comunaty, verificou-se que a altitude não influenciou na diversidade e abundância dos Mucoromycota, enquanto a sazonalidade influenciou na composição, frequência relativa e riqueza de espécies. *Absidia aguabelensis* é uma nova espécie, enquanto *Backusella* sp. 1, *Mucor* sp. 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 são prováveis novas espécies. *Mucor pseudocircinelloides*, *M. pseudolusitanicus* e *U. nana* ocorrem pela primeira vez no Brasil.

Palavras-chave: Mucoromycota, Ecologia, solo, Taxonomia.

ABSTRACT

The Upland Forests are enclaves of damp forests, formed from biogeographic changes, with up to 1,100 m of altitude. These ecosystems are ecological refuges for rainforest species within the northeastern semiarid region. To date, there are no studies on the influence of the altitude on the diversity and richness of Mucoromycota species in Brazilian Upland forests. Thus, this work had as main objective to understand the impact of the altitude on the soil community of Mucoromycota in two Upland Forest areas located in the semiarid region of Pernambuco. Three soil samples were collected at different altitude gradients in the "RPPN do Benedito" and three in the "Serra do Comunaty", located in the municipalities of Gravatá and Águas Belas, respectively. To isolate the fungi, three milligrams of soil were spread on wheat-germ agar culture medium, added with chloramphenicol, contained in Petri dishes, in triplicate. Forty-nine species belonging to the genera *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor*, *Syncephalastrum*, *Rhizopus*, and *Umbelopsis* were isolated. *Mucor fragilis* and *M. circinelloides* are the most frequent species in the RPPN do Benedito and *A. cornuta*, *Mucor circinelloides* and *C. bertholletiae* are frequent in the Serra do Comunaty. The altitude influences the diversity of Mucoromycota in the "RPPN do Benedito", although it does not influence the abundance of these fungi. Both altitude and seasonality show influence over the species composition, relative frequency, and richness of Mucoromycota in the "RPPN do Benedito". For the "Serra do Comunaty", it was found that altitude does not influence the diversity and abundance of Mucoromycota, while seasonality influences the composition, relative frequency, and species richness. *Absidia aguabelensis* is a new species, while *Backusella* sp. 1 and *Mucor* sp. 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, and 16 are likely new species. *Mucor pseudocircinelloides*, *M. pseudolusitanicus* and *U. nana* occur in Brazil.

Keywords: Mucoromycota, Ecology, soil, Taxonomy.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Aspecto florístico da Reserva Particular Patrimônio Natural do Benedito. . . 36
- Figura 2 – Aspecto florístico do brejo da Serra do Comunaty. 36
- Figura 3 – Metodologia com pontos de coleta para as áreas de brejos de altitude do semiárido de Pernambuco. Observar os três quadrantes (quadrados marrons) de onde foram coletadas as cinco amostras de solo, em cada gradiente de altitude.. . . . 37
- Figura 4 – Fungos isolados do brejo da RPPN do Benedito e/ou da Serra do Comunaty. A. *Cunninghamella bertholletiae*: Esporóforo com ramificações verticiladas e vesículas aparentes. B. *Gongronella butleri*: Esporangióforo com esporângio apofisado. C. *Mucor fragilis*: Esporangióforo com columela. D. *Mucor circinelloides*: Esporangióforo principal com columela aparente e ramificação com esporângio. E. *Mucor pseudocircinelloides*: Esporangióforo ramificado com esporângio jovem e columelas. F. *Mucor pseudolusitanicus*: esporangióforo com columela. G. *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus*: esporangióforo com esporângio e rizóides. H. *Umbelopsis nana*: Esporangióforos ramificados com esporângios. I. *Umbelopsis isabelina*: esporangióforos com esporângios e esporangióforo sem columela (seta). Escala = 50 μm 41
- Figura 5 – Médias e desvios padrão das métricas de diversidade alfa de espécies de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito. (A) Número médio de espécies de Mucoromycota por placa de Petri, (B) índice de diversidade de Simpson, (C) índice de diversidade de Shannon-Wiener, (D) número total de UFC por grama de solo. A mesma letra minúscula indica que não houve diferença significativa de acordo com o teste de diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com nível de significância de 5%. Dados rarefeitos. 43

- Figura 6 – Estrutura e diversidade das comunidades de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito explicada pelas principais variáveis restritas. (A) Riqueza de espécies de Mucoromycota em função do número de células por grama de solo. (B) Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) usando a distância de Bray-Curtis aplicada à abundância de Mucoromycota. Os dois eixos principais calculados com base na Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) explicaram 24% da variação total. As variáveis precedidas por uma ou mais asteriscos (*) apresentaram uma influência significativa sobre o modelo multivariado de acordo com a análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA, $p < 0.05$). Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T). Capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P); saturação por alumínio (m); sódio (Na^+) 44
- Figura 7 – Correlações entre as espécies de Mucoromycota mais frequentes às principais variáveis do solo e à precipitação no solo do brejo de altitude da RPPN do Benedito. A estatística ρ de Spearman foi usada para estimar uma medida de associação monotônica baseada em classificação. Os p-valores foram calculados por aproximação da série de Edgeworth (algoritmos AS 66). As associações significativas em quadrados foram marcadas com um asterisco. Os dendrogramas indicam a proximidade mútua entre espécies e variáveis pela mesma estatística. Legenda: acidez potencial (H^+Al); capacidade de troca de cátions (CTC); cálcio (Ca^{2+}); magnésio (Mg^{2+}); saturação por bases em percentual (V%); sódio (Na^+); Potássio (K^+); fósforo (P); saturação por alumínio (m%). 45
- Figura 8 – Frequência relativa de espécies de Mucoromycota no topo (T) e fundo (F) do brejo de altitude da RPPN do Benedito nos meses de fevereiro, março e outubro. O eixo horizontal indica a proporção das espécies, variando de 0 a 1 (100%). As espécies foram organizadas em ordem crescente na legenda (de baixo para cima), com destaque para aquelas que representaram mais de 1% da ocorrência total. 46

- Figura 9 – Análise de co-ocorrência das espécies de Mucoromycota entre as posições fundo (A) e topo (B) em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito. A correlação entre as espécies (nós) foi estimada pelo algoritmo SparCC e os valores p foram estimulados por bootstrapped. Edges (SparCC) com pesos acima de 0,01 foram preservados. O tamanho do nó é proporcional ao número de conexões (grau) e foram pintados em oito intervalos de acordo com a centralidade de intermediação (BC). 48
- Figura 10 – Médias e desvios padrão das métricas de diversidade alfa de espécies de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty. (A) Número de espécies, (B) índice de diversidade de Simpson, (C) índice de diversidade de Shannon Wiener, (D) número total de UFC por grama de solo. De acordo com o teste F, não foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os gradientes de altitude. 50
- Figura 11 – Estrutura e diversidade das comunidades de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty explicada pelas principais variáveis restritas (24%). (A) Diversidade de espécies em função do número de células por grama de solo. (B) Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) usando a distância de Bray Curtis aplicada à abundância de Variantes de Sequência de Amplicon (ASVs) do gene 16S rRNA. Manchas coloridas indicam as pontuações das áreas de amostra para os primeiros dois eixos da Análise restrita de coordenadas principais (CAP). A similaridade entre as amostras foi explicada em função do solo não redundante e da precipitação média (vetores), onde as variáveis significativas foram precedidas por um ou mais asteriscos (*). Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T). Capacidade de troca de cátions (CTC), magnésio (Mg^{2+}); saturação por alumínio (m); fósforo (P); sódio (Na^{+}); e potássio (K^{+}). 51

- Figura 12 – Correlações de Spearman (ρ) entre as espécies de Mucoromycota mais frequentes, as principais variáveis do solo e a precipitação no solo do brejo da Serra do Comunaty. As associações significativas em retângulos foram marcadas com um ou mais asteriscos. Os dendrogramas indicam a proximidade mútua entre espécies e variáveis pela mesma estatística. Intervalo de significância do p-valor: 0 *** 0.01 ** 0.05 *. *. Legenda: potássio (K^+); sódio (Na^+); saturação por bases em percentual (V%); fósforo (P); cálcio (Ca^{2+}); enxofre (S); saturação por alumínio (m%); magnésio (Mg^{2+}); acidez potencial (H+Al); capacidade de troca de cátions (CTC). 53
- Figura 13 – Frequência relativa de espécies de Mucoromycota no fundo, meio e topo, no brejo de altitude da Serra do Comunaty. As espécies foram organizadas em ordem crescente na legenda, com destaque para aquelas que representaram mais de 1% da ocorrência total. Árvore de similaridade. Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T). 54
- Figura 14 – Análise de co-ocorrência das espécies de Mucoromycota entre as posições inferior e superior em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty. A correlação entre as espécies (nós) foi estimada pelo algoritmo SparCC e os valores p foram estimulados por bootstrapped. Edges (SparCC) com pesos acima de 0,01 foram preservados. O tamanho do nó é proporcional ao número de conexões (grau) e foram pintados em oito intervalos de acordo com a centralidade de intermediação (BC). 56
- Figura 15 – *Absidia aguabelensis* sp. nov. (URM 8213). A. Superfície da colônia em ágar extrato de malte a 25 ° C. B. Esporangióforo jovem com esporângio. C. Esporangióforos maduros com esporângio, columela e apófise em forma de sino. D, E. Esporangióforo ramificado; F, G, H, I. Esporangióforo com columela; J. Esporangiosporos. Barras: B, C, J = 25 μm ; D, E = 50 μm ; F, G, H, I = 12,5 μm 58

Figura 16 – Árvore filogenética de *Absidia aguabelensis* URM 8213 e espécies relacionadas com base na análise de máxima verossimilhança (ML) das regiões ITS e LSU do rDNA. Os valores de bootstrap para probabilidades Bayesianas posteriores acima de 0,9 e ML maior ou igual a 70% foram inseridos acima dos nós. Valores de bootstrap menores que 0,9 e ML menores que 70% estão marcados com "*". A barra indica o número de substituições por posição. A sequência proposta neste estudo está em azul. *Cunninghamella phaeospora* CBS 692.68 e *Cunninghamella vesiculosa* CBS 989.96 foram usadas como grupos externos. 59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Amostras depositadas na Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco.	57
Quadro 2 – Amostra depositada no Herbário URM da Universidade Federal de Pernambuco.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC.g^{-1}) de Mucoromycota ao longo do perfil de elevação do terreno no brejo de altitude da RPPN do Benedito.	42
Tabela 2 – Análise de dissimilaridade de porcentagens (SIMPER) da abundância média de Mucoromycota no fundo e topo brejo de altitude da RPPN do Benedito.	47
Tabela 3 – Unidades formadoras de colônias por grama de solo (UFC.g^{-1}) dos Mucoromycota ao longo do perfil de elevação do terreno no brejo da Serra do Comunaty.	49
Tabela 4 – Análise de similaridade de porcentagens (SIMPER) da abundância média de Mucoromycota no fundo, meio e topo do brejo de Gravatá. Legenda: DM – dissimilaridade média; Contrib. % - contribuição da espécie na dissimilaridade; Culmul. % – contribuição cumulativa.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	MUCOROMYCOTA DOWELD	20
2.2	MUCORALES SCHRÖTER	21
2.2.1	<i>Absidia</i> Tiegh	23
2.2.2	<i>Backusella</i> Hesselt. & J.J.Ellis	24
2.2.3	<i>Cunninghamella</i> Matr	25
2.2.4	<i>Gongronella</i> Ribaldi	26
2.2.5	<i>Mucor</i> Fresen	27
2.2.6	<i>Rhizopus</i> Ehrenb	28
2.2.7	<i>Syncephalastrum</i> J. Schröt	29
2.2.8	<i>Umbelopsis</i> Amos & H.L. Barnett	29
2.3	O SEMIÁRIDO E BREJOS DE ALTITUDES NORDESTINOS	30
2.4	MUCORALES ISOLADOS DE BREJOS DE ALTITUDE PERNAMBUCANOS	32
3	OBJETIVOS	34
3.1	GERAL	34
3.2	ESPECÍFICOS	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	ÁREAS DE ESTUDO	35
4.2	COLETAS DE SOLO	36
4.3	ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCOROMY- COTA	38
4.4	EXTRAÇÃO DO DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO	38
4.5	ANÁLISE FILOGENÉTICA	38
4.6	ANÁLISE DE DADOS	39
4.7	CRESCIMENTO, DESCRIÇÃO DE <i>ABSIDIA</i> AGUABELENSIS SP. NOV.	40
4.8	INCORPORAÇÃO DAS CULTURAS DOS ESPÉCIMES ISOLADOS NA COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM, DE LÂMINAS NO HER- BÁRIO URM E DAS SEQUÊNCIAS ITS E LSU DORDNA NO <i>GENBANK</i>	40
5	RESULTADOS	41

5.1	DIVERSIDADE E RIQUEZA DE ESPÉCIES DE MUCOROMYCOTA NO SOLO DO BREJO DE ALTITUDE DA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL (RPPN) DO BENEDITO.	41
5.2	DIVERSIDADE E RIQUEZA DE ESPÉCIES DE MUCOROMYOTA NO SOLO DO BREJO DE ALTITUDE DA SERRA DO COMUNATY	48
5.3	DEPÓSITO DOS ESPÉCIMES ISOLADOS À COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM DO DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	56
5.4	TAXONOMIA	57
6	DISCUSSÃO	60
6.1	RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL DO BENEDITO .	61
6.1.1	Serra do Comunaty	63
6.2	ABSIDIA AGUABELENIS	66
7	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Os brejos de altitude nordestinos são ecossistemas situados em planaltos e chapadas, entre 500 e 1100 metros de altitude, localizados dentro do Semiárido brasileiro, exibindo, em relação às áreas de Caatinga, condições diferenciadas quanto à umidade do solo e do ar, temperatura e cobertura vegetal (ANDRADE-LIMA, 1966; ANDRADE-LIMA, 1982). Segundo (SANTOS et al., 2007), estes encaves de florestas úmidas se formaram a partir de mudanças biogeográficas no Pleistoceno, permitindo o deslocamento de organismos entre ecossistemas neotropicais. As variações climáticas ocorridas ao longo dos anos contribuíram para que os brejos de altitude nordestinos se tornassem refúgios ecológicos para diferentes espécies de organismos (LIMA et al., 2018b). Infelizmente, as práticas de agricultura e pecuária, comuns nos brejos de altitude, têm convertido as florestas em lavouras e pastos, o que tem fragmentado ou destruído totalmente esses ecossistemas, causando a perda da biodiversidade (TABARELLI; SANTOS, 2004).

Áreas de brejo de altitude podem apresentar variações nos tipos de solo, vegetação, clima e orografia, como consequências da elevação da altitude, e que refletem diretamente na riqueza e diversidade da comunidade fúngica desses micro habitats (SPEHN et al., 2010). Dessa forma, o clima, o aporte de nutrientes, a precipitação e as condições edáficas contribuem simultaneamente para abundância e frequência dos táxons nos diferentes gradientes (PERONI; MALVA, 2011; LI et al., 2014). Alguns estudos reportaram que a altitude influencia negativamente na distribuição, riqueza e diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (VIEIRA, 2016). No entanto, não existem dados na literatura sobre a influência da altitude nas comunidades de fungos da ordem Mucorales Dumort.

Mucorales, pertencente ao filo Mucoromycota Doweld (SPATAFORA et al., 2016), abriga fungos caracterizados pelo crescimento rápido em meios de cultura (KIRCHMAIR et al., 2008; HOFFMANN et al., 2013), produzindo micélio cenocítico e esporos sexuais, os zigosporos, e assexuados, como esporangiosporos e merosporangiosporos (HOFFMANN et al., 2013; BENNY et al., 2016). As espécies dessa ordem são em maioria sapróbias, podendo ser encontradas em diversos substratos, como solo, grãos estocados, vegetais, excrementos de herbívoros e em animais, incluindo humanos (SPATAFORA et al., 2016). Muitos representantes da ordem Mucorales apresentam importância industrial, podendo ser empregados em processos biotecnológicos, pela capacidade de produzirem enzimas, como tanase, quitosana e lipases (ARAÚJO et al., 2018; SALES et al., 2018; PAIVA et al., 2020), enquanto outros têm importância médica,

causando mucormicoses em indivíduos imunocomprometidos (QUIROZ; VILLANUEVA; LOZANO, 2017).

Estudos têm demonstrado a elevada diversidade dos fungos no semiárido brasileiro (CRUZ; GUSMÃO, 2009; CRUZ; MARQUES; GUSMÃO, 2014). Atualmente, 50 táxons de Mucoromycota foram descritos para o estado de Pernambuco (FLORA..., 2020) e, dentre esses, apenas 23 foram reportados em solo de brejos de altitude como espécies novas recém descritas (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; HYDE et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; ALVES et al., 2017; LIMA et al., 2018b; LIMA et al., 2020; ALVES et al., 2021a). Considerando que a ordem Mucorales abriga mais de 300 espécies (WIJAYAWARDENE et al., 2020), sendo grande parte dessas isoladas do solo, e que a esperam-se elevadas riqueza e diversidade de fungos em áreas tropicais (HAWKSWORTH; LÜCKING, 2017) pode-se concluir que o conhecimento da riqueza de espécies de Mucoromycota nos brejos nordestinos ainda é insuficiente.

O fato dos brejos de altitude estarem sendo rapidamente degradados torna urgente que sejam gerados dados ecológicos que contribuam para o conhecimento da estruturação das comunidades de Mucoromycota nesses ecossistemas. Até o presente, apenas um estudo ecológico sobre os Mucorales (LIMA et al., 2020) foi desenvolvido, em áreas de Mata Atlântica de Pernambuco, com dados sobre a influência das variáveis do solo na estruturação das comunidades desses fungos. Além disso, inexistem estudos sobre a influência da altitude na diversidade e riqueza de espécies de Mucoromycota nos brejos nordestinos. Deve-se considerar que a maioria dos brejos pernambucanos ainda não foram inventariados e esses podem ser reservatórios importantes para novas e raras espécies.

Dessa forma, esse trabalho tem como principais hipóteses: 1 – O solo dos brejos de altitude da Serra do Comunaty e da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Benedito apresenta elevada diversidade e riqueza de Mucoromycota, incluindo táxons raros e/ou novos; 2 – A altitude influencia negativamente na diversidade, abundância e riqueza de espécies de Mucoromycota nos brejos inventariados; 3 – Algumas variáveis do solo, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na, K, Al, H, S e o pH, bem como a precipitação pluviométrica, influenciam a diversidade, abundância e na distribuição das espécies de Mucoromycota nos solos dos brejos inventariados; 4 – A frequência das espécies de Mucoromycota varia de acordo com os meses do ano (sazonalidade) nos dois brejos de altitude inventariados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MUCOROMYCOTA DOWELD

Os primeiros estudos morfológicos relacionados à taxonomia do filo Mucoromycota Doweld ocorreram na França, Alemanha e Estados Unidos, com base nas características morfológicas das espécies (VAN TIEGHEM; G., 1873; VAN TIEGHEM, 1875; VAN TIEGHEM, 1876; BAINIER, 1882; KRYPTOGRAMEN-FLORA..., 1885; FISCHER, 1892). No século XX, trabalhos de revisão taxonomia de gêneros com base na morfologia e fisiologia foram produzidos, em diferentes países, por (HESSELTINE; FENNELL, 1955), (HESSELTINE; ELLIS, 1961; HESSELTINE; ELLIS, 1964; HESSELTINE; ELLIS, 1966), (SCHIPPER, 1973; SCHIPPER, 1975; SCHIPPER; SAMSON; STALPERS, 1975; SCHIPPER, 1978a; SCHIPPER, 1978b; SCHIPPER, 1984), (BENNY; BENJAMIN, 1975; BENNY; BENJAMIN, 1976), (RU-YONG; GUI-QING, 2001) e (ZHENG et al., 2007). Com advento da biologia molecular, outros trabalhos de revisão taxonômica foram realizados (O'DONNELL et al., 2001; VOIGT; WÖSTEMEYER, 2001; MEYER; WALTER, 2003; ALASTRUEY-IZQUIERDO et al., 2010; VOIGT, 2012; HOFFMANN et al., 2013; WALTHER et al., 2013; WAGNER et al., 2019), e novos modelos de classificação foram propostos para abrigar as espécies do tradicional filo Zygomycota, que foi desconsiderado por ser polifilético (HIBBETT et al., 2007; TEDERSOO et al., 2018). Desde 2016, o nome Mucoromycota, proposto em 2001, foi reconsiderado (SPATAFORA et al., 2016).

O filo Mucoromycota abriga o subfilo Mucoromycotina Benny, três ordens e 17 famílias: Mucorales Dumort. (*Backusellaceae* K. Voigt & P.M. Kirk, *Choanephoraceae* J. Schröt., *Cunninghamellaceae* Naumov ex R.K. Benj., *Lentamycetaceae* K. Voigt & P.M. Kirk, *Lichtheimiaceae* Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt, *Mucoraceae* Fr., *Mycocladaceae* Kerst. Hoffm. Discher & K. Voigt, *Mycotyphaceae* Benny & R.K. Benj., *Phycomycetaceae* Arx, *Pilobolaceae* Corda, *Radiomycetaceae* Hesselt. & J.J. Ellis, *Rhizopodaceae* K. Schum., *Saksenaeaceae* Hesselt. & J.J. Ellis e *Syncephalastraceae* Naumov ex R.K. Benj.; Endogonales Jacz. & P.A. Jacz. (*Densosporaceae* Desirò, M.E. Sm., Bidartondo, Trappe & Bonito M.E. Sm., Bidartondo, Trappe & Bonito e *Endogonaceae* Paol.; Umbelopsidales Spatafora, Stajich & Bonito (*Umbelopsidaceae* W. Gams & W. Mey) (WIJAYAWARDENE et al., 2020).

As espécies pertencentes a esse filo podem ser encontradas em diferentes substratos, com a maioria de hábito sapróbio, ainda que também existam espécies parasitas de vegetais, animais invertebrados e vertebrados, ectomicorrizas, além de outros fungos (ALEXOPOULOS; MIMS,

1996; ÁNGELES-ARGÁIZ; GARIBAY-ORIJEL, 2019). Táxons de Mucorales podem ser isolados de solo, frutas, grãos estocados e de excrementos de animais (TRUFEM, 2006; SANTIAGO; MOTTA, 2008), exibindo crescimento rápido por conta do seu mecanismo fisiológico, bioquímico e genético, permitindo que colonizem primeiro os substratos e degradem açúcares simples (TRUFEM, 1981). Os representantes da ordem Endogonales são sapróbios e ectomicorrízicos de plantas, assim como endófitos (DESIRÒ et al., 2017; BONFANTE; VENICE, 2020). As espécies de Umbelopsidales são associadas ao solo rizosférico, com fortes indícios de que ocorram como endofíticos em raízes lenhosas (HOFF et al., 2004).

2.2 MUCORALES SCHRÖTER

A ordem Mucorales acomoda a maior parte das espécies do subfilo Mucoromycotina, com mais de 300 espécies descritas (WIJAYAWARDENE et al., 2020). Representantes dessa ordem geralmente possuem crescimento rápido, mesmo em meios de cultura com baixo teor de nutrientes, degradando preferencialmente carboidratos simples (DIX; WEBSTER, 1995; KENDRICK, 2017; SPATAFORA et al., 2016). Poucas espécies são capazes de degradar carboidratos complexos, como a hemicelulose (DIX; WEBSTER, 1995; KENDRICK, 2017).

Grande parte das espécies dessa ordem forma um micélio cotonoso, composto por hifas ramificadas (SPATAFORA et al., 2016). As hifas produzidas são cenocíticas, mas com septos delimitando estruturas de reprodução, em hifas danificadas, ou septos irregularmente espaçados em colônias envelhecidas (BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016). Táxons de Mucorales comumente se reproduzem assexuadamente pela produção de esporangiosporos, merosporos e/ou esporangiólos que são estruturas formadas no topo ou em ramos laterais dos esporóforos (BENNY et al., 2016). A reprodução sexuada ocorre por copulação gametangial, com a produção do zigosporo, no interior do zigosporângio, que exhibe células suspensoras opostas ou apostas (BENNY, 2005). As hifas dos representantes dessa ordem podem sofrer diferenciações, formando, além das estruturas de reprodução supracitadas, rizóides, estolões, clamidosporos e, raramente, artrosporos (KIRK et al., 2008).

Os esporangiosporos são formados em esporângios, que são estruturas globosas ou subglobosas localizadas no ápice dos esporangióforos. Estes últimos sofrem uma dilatação na porção apical, formando a columela, a qual exhibe formatos distintos podendo ser cônica, globosa, subglobosa, hemisférica, ovoide (TIBPROMMA et al., 2017; CORDEIRO et al., 2020; LIMA et al., 2020), elíptica, obovóide, cilíndrica e piriforme (WAGNER et al., 2020). Já os merosporos e

esporângios são formados a partir de vesículas terminais com formas variadas (ex: globosas, subglobosas, clavadas, ovóides ou subpiriformes), provenientes de merosporangióforos ou esporóforos. A partir da vesícula, desenvolve-se um merosporângio cilíndrico que abriga os merosporos (MISRA, 1975; ZHENG; CHEN; HU, 1988; RU-YONG; GUI-QING, 2001; XIAO; HE; RU, 2001; JIN et al., 2015; DUONG et al., 2016).

Táxons da ordem Mucorales exibem ampla distribuição, com a maioria atuando como decompositores no solo, excrementos de herbívoros e roedores, frutos e alimentos armazenados (HOFFMANN et al., 2013; SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013). Embora espécies de Mucorales sejam, em maioria, mesofílicas, apresentando crescimento ótimo com esporulação em temperaturas entre 20° e 30° C, algumas são termotolerantes, como as dos gêneros *Lichtheimia* Vuill., *Rhizopus* Ehrenb. Rickia, *Rhizomucor* Lucet & Costantin e *Thermomucor* Subrahmanyam, B.S. Mehrotra & Thirum (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013). Algumas espécies termotolerantes e, mesmo algumas mesofílicas, podem ser agentes causadores de mucormicoses em humanos, como, por exemplo, *Cunninghamella echinulata*, *Lichtheimia ramosa*, *Mucor racemosus*, *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus*, *R. microsporus*, e *Syncephalastrum racemosum* (LIMA-NETA; NEVES; SANTIAGO, 2019). Outras espécies podem parasitar vegetais [ex: *Choanephora cucurbitarum* (Berk. & Ravenel) Thaxt., *Gilbertella persicaria* (E.D. Eddy) Hesselt., *Mucor piriformis* A. Fisch. e *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill., apodrecendo frutas e verduras (BENNY; HUMBER; VOIGT, 2014), acarretando prejuízos econômicos.

Algumas espécies de Mucorales exibem importância biotecnológica, produzindo enzimas, como amilases, inulinases, lipases, pectinases e renina (HOFFMANN et al., 2013). Outras são utilizadas para a produção do tofu [*Actinomucor elegans* (Eidam) C. R. Benj. & Hesselt.] e do tempeh (*R. microsporus* Tiegh., citada como *R. oligosporus*) (HESELTIME, 1965; HESELTIME, 1983; NOUT; KIERS, 2005; BENUCCI et al., 2020). Mendonça et al. (2021) mostraram que *Absidia cylindrospora* produz lipídeos que podem ser empregados na fabricação de biodiesel. Outros táxons são importantes na biorremediação de ambientes contaminados (ex: *Cunninghamella* spp. e *Rhizopus* spp.), podendo ser aplicados na biossorção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, assim como no tratamento de resíduos têxteis (BENNY; HUMBER; VOIGT, 2014). Biossurfactantes e bioemulsificantes, também produzidos por espécies de Mucorales, são importantes na recuperação de áreas poluídas e nas indústrias farmacêutica e alimentícia (PELE et al., 2019; MENDONÇA et al., 2021).

2.2.1 Absidia Tiegh

O gênero *Absidia*, descrito por van Tieghem (1876), compreende espécies sapróbias, comumente isoladas do solo, excrementos de animais, serapilheira e de humanos imunocomprometidos (VAN TIEGHEM, 1876; ZHANG et al., 2018; URQUHART; IDNURM, 2021). Morfologicamente, espécies desse gênero são caracterizados pela formação de esporangióforos simples ou em cachos que surgem de estolões (VAN TIEGHEM, 1876). Os esporângios têm parede deliquescente, são subglobosos, piriformes e envolvem columelas apofisadas com formatos variados (cônicas, subglobosas, hemisféricas, em forma de morango ou de figo), podendo ou não apresentar até três projeções apicais filiformes e/ou com a porção apical bulbosa (CORDEIRO et al., 2020; LIMA et al., 2020). Os esporangiosporos são hialinos e sem estrias (VAN TIEGHEM, 1876; HOFFMANN; DISCHER; VOIGT, 2007), enquanto, na reprodução sexuada, ocorre a formação de zigosporos, em zigosporângios, com células suspensoras providas de apêndices (HOFFMANN; DISCHER; VOIGT, 2007).

Tradicionalmente, a morfologia dos esporangiosporos foi utilizada por Hesseltine e Ellis (1964), Ellis e Hesseltine (1965) e Ellis e Hesseltine (1969) para agrupar as espécies do gênero de acordo com as formas cilíndrica, globosa e ovóide. No entanto, Hoffmann, Discher e Voigt (2007), ao revisarem o gênero utilizando uma abordagem polifásica, ou seja, com o auxílio da filogenia, morfologia e fisiologia, classificaram as espécies, até então consideradas como *Absidia* em: mesofílicas, com crescimento ótimo em temperaturas entre 25 e 34 °C, micoparasitas de outros gêneros de Mucorales, com bom crescimento em temperaturas abaixo de 30 °C, e espécies termotolerantes, que exibem crescimento em temperaturas elevadas, de 37 a 45 °C. Posteriormente, Hoffmann e Voigt (2009) mantiveram somente as espécies mesofílicas no gênero *Absidia*, sendo as espécies micoparasitas e termotolerantes transferidas, respectivamente, para *Lentamyces* Kerst. Hoffm. & K. Voigt e para *Lichtheimia* Vuill. Hoffmann et al. (2013).

Atualmente, quarenta e seis espécies de *Absidia* são aceitas ((SPECIES... ; LIU, 2021; ZONG et al., 2021), dentre as quais dez foram descritas no Brasil (FLORA... , 2020), incluindo *A. aguabelensis* J.D. Leitão, T.R.L. Cordeiro, H.B. Lee & A.L. Santiago (LEITAO et al., 2021), *A. bonitoensis* C.L. Lima (LIMA et al., 2021), *A. caatinguensis* D.X. Lima & A.L. Santiago (ARIYAWANSA et al., 2015), *A. cornuta* D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago, *A. multispora* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2020), *A. pernambucoensis* D.X. Lima, C.M. Souza-Motta & A.L. Santiago (LIMA et al., 2020), *A. saloensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al.,

2020), isoladas de Mata Atlântica e de brejos de altitude, em Pernambuco.

2.2.2 *Backusella* Hesselt. & J.J.Ellis

As espécies deste gênero são sapróbias, comumente isoladas do solo, plantas, fezes de herbívoros e também de serapilheira (KIRK, 2012). Com características morfológicas semelhantes a *Mucor*, o gênero *Backusella*, descrito por Ellis e Hesseltine (1969), abriga espécies que produzem esporangióforos jovens circinados e eretos, quando velhos, tanto com esporângios terminais, de parede deliquescente, como com esporangíolos (na maioria das espécies) uni e/ou multiesporados, de parede persistente em ramos laterais pedicelados (BENNY; BENJAMIN, 1975; KIRK, 2012; LIMA et al., 2016).

Arx et al. (1974), classificou as espécies de *Backusella*, anteriormente incluídas em *Mucoraceae* Fr., *Choanephoraceae* J. Schröt. e em *Thamnidiaceae* Fitzp. No entanto, Pidoplichko e Mil'ko (1971) reuniram todas as espécies em *Thamnidiaceae*, devido à presença dos esporangíolos uniesporados e/ou multiesporados, que são características semelhantes às observadas em *Thamnidium* Link.

Benny e Benjamin (1975) agruparam, em *Backusella*, *B. circina* J.J. Ellis & Hesselt, *B. ctenidia* (Durrell & M. Fleming) Pidopl. & Milko ex Benny & R.K. Benj. e *B. lamprospora* (Lendn.) Benny & R.K. Benj., por produzirem simultaneamente esporângios e esporangíolos, uni e/ou multiesporados. Walther et al. (2013), ao revisarem a ordem Mucorales, com base na análise filogenética das regiões ITS e LSU do rDNA, transferiram todas as espécies de *Mucor* que formavam esporangióforos curvados, quando jovens, e eretos, na maturidade, e que também foram agrupadas distantemente das outras espécies de *Mucor*, nas árvores ITS e LSU geradas, para o gênero *Backusella*. Esses mesmos autores transferiram *B. ctenidia* para *Mucor* [*Mucor ctenidius* (Durrell & M. Fleming) Walther & de Hoog] (WALTHER et al., 2013). (URQUHART et al., 2021) isolaram e descreveram 10 novas espécies de *Backusella* na Austrália.

Atualmente, existem trinta espécies descritas para o gênero, sendo três destas recentemente descritas: *B. chlamydospora* Hyang B. Lee & T.T.T. Nguyen, *B. koreana* Hyang B. Lee, J.S. Kim & T.T.T. Nguyen e *B. thermophila* Hyang B. Lee, A.L. Santiago, P.M. Kirk, K. Voigt & T.T.T. Nguyen (NGUYEN et al., 2021). Para o Brasil, foram registradas apenas *B. azygospora* (CROUS et al., 2019), *B. constricta* (LIMA et al., 2016), *B. gigacellularis* (SOUZA et al., 2014) e *B. lamprospora* (SOUZA et al., 2011; SANTIAGO et al., 2011), isoladas do solo.

2.2.3 *Cunninghamella* Matr

Espécies de *Cunninghamella* são comumente encontradas no solo, em grãos estocados, frutos e excrementos de herbívoros, com algumas espécies capazes de causar infecções em pacientes imunocomprometidos, comumente diabéticos (sem controle) e com doenças hematológicas (JIN et al., 2015).

Espécies desse gênero são morfológicamente caracterizadas por produzirem esporóforos eretos, com padrão de ramificação variado, podendo ser monopodiais, simpodiais, verticilados, pseudoverticilados ou com ramificações de tamanhos diferentes surgindo em um mesmo esporóforo. Ainda nos esporóforos, ocorre a formação de uma vesícula terminal que pode ser globosa, subglobosa, clavada ou irregular. Unidos por pedicelos a essa vesícula, estão os esporângios uniesporandos, globosos, subglobosos, ovóides ou lacrimiformes. Os zigospórangios, portando o zigosporo, exibem cor escura (marrom ou preta), bem como células suspensoras opostas. A classificação de *Cunninghamella* têm tradicionalmente se baseado em dados estruturais morfológicos, desde a coloração e textura da colônia, assim como o padrão de ramificação dos esporangióforos e a cor, tamanho e forma apresentada pelas vesículas e esporângios, bem como em dados moleculares, principalmente, das regiões ITS e LSU do rDNA (RU-YONG; GUI-QING, 2001; XIAO; HE; RU, 2001; WALTHER et al., 2013; JIN et al., 2015).

Algumas espécies exibem importância industrial para a produção de biossurfactantes sustentáveis e não tóxicos (ANDRADE et al., 2018), além de serem importantes para o tratamento e efluentes tóxicos (CARVALHO et al., 2019) e para a produção de tanases e lipases (SALES et al., 2018; PAIVA et al., 2019).

São conhecidas dezoito espécies para o gênero, sendo três destas recentemente descritas: *C. arunaloeki* V. Hallur, S. Rudramurthy H. Prakash, *C. globospora* H. Zhao & X.Y. Liu, *C. saismornae* N. Suwannarach & P. Wongputtisin, (HALLUR et al., 2021; ZHAO et al., 2021; SUWANNARACH et al., 2021). Para o Brasil, foram registradas apenas nove espécies e três variedades deste gênero: *C. bainieri*, (TRUFEM, 1981), *C. bertholletiae* (ALVES et al., 2016; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019), *C. blakesleeana* (ALVES et al., 2016; LIMA et al., 2018b), *C. clavata* (ALVES et al., 2017; LIMA et al., 2018b), *C. echinulata* var. *antactica* (SOUZA, 2019), *C. echinulata* var. *echinulata* (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; LIMA et al., 2018b), *C. echinulata* var. *verticilata* (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013), *C. elegans* (ALVES et al., 2016; SOUZA, 2019), *C. gigacellularis* (HYDE et al., 2016; SOUZA, 2019), *C. phaeospora* (SANTOS et al., 2016) e *C. vesiculosa* (OLIVEIRA et al., 2013).

2.2.4 *Gongronella* Ribaldi

Esse gênero compreende espécies com produção de esporangióforos simples ou ramificados, eretos ou recurvados, com a presença de esporângios apofisados, globosos com parede deliquescente ou persistente (BENNY, 2005). As columelas podem ser globosas, subglobosas ou inconspícuas, com apófises globosa, subglobosas, elípticas ou campanuladas. Os esporangiosporos são reniformes, elípticos e/ou lacrimiformes (HESSELTINE; ELLIS, 1964). Os zigospórangios são escuros, ornamentados, com as células suspensoras opostas e sem apêndices (HESSELTINE; ELLIS, 1964).

Os principais aspectos morfológicos observados por Ribaldi (1952), quanto à proposição de *Gongronella*, foram a redução da columela e a presença da apófise proeminente, características essas consideradas semelhantes às presentes nas espécies de *Absidia* Adamčík et al. (2015), tendo esse autor descrito *G. urceolifera* [= *G. butleri* (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco]. Em seguida, Peyronel e Vesco (1955) transferiram *A. butleri* Lendn. para *Gongronella*, baseando-se na presença da apófise. Posteriormente, Hesseltine e Ellis (1964) incluíram *G. lacrispora* no gênero. *Gongronella* está inserido na família Cunninghamellaceae e inclui espécies caracterizadas por constituírem colônias de crescimento relativamente lento, em meios de cultura, com estolões e rizóides com desenvolvimento limitado e esporangióforos eretos ou frequentemente dispostos em ramificações levemente circinadas que portam esporângios apofisados.

Táxons de *Gongronella* mostraram resultados aplicáveis em processos de bioremediação de áreas poluídas com metalaxil, um fungicida capaz de contaminar os lençóis freáticos (MARTINS et al., 2017). *Gongronella butleri* produz amilase, enzima que pode ser utilizada na produção de xaropes (CAVALHEIRO et al., 2017) e β glucosidase, empregada na produção de etanol e bebidas (SANTOS et al., 2016). Atualmente, são aceitas treze espécies para esse gênero: *G. brasiliensis* C.A.F. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago, *G. butleri* (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco, *G. eborensis* M.R. Martins, C. Santos, C. Soares, C. Santos & N. Lima, *G. guangdongensis* F. Liu, T.T. Liu & L. Cai, *G. hydei* Doilom, *G. koreana* Hyang B. Lee & T.T.T. Nguyen, *G. lacrispora*, *G. namwonensis* Hyang B. Lee, A.L. Santiago & H.J. Lim, *G. orasabula* Hyang B. Lee, K. Voigt, P.M. Kirk & T.T.T. Nguyen, *G. pedratalhadensis* L.W.S. Freitas, H.B. Lee & A.L. Santiago, *G. sichuanensis* Zhi. Y. Zhang, Y.F. Han, W.H. Chen & Z.Q. Liang e *G. zunyiensis* C.B. Dong, Y.F. Han & Z.Q. Liang (INDEX...; DOILOM et al., 2020). Para o Brasil, apenas foram isoladas *G. butleri* (ALVES et al., 2016; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019), *G. brasiliensis* (TIBPROMMA et al., 2017), *G. lacrispora* (UPADHYAY, 1970) e *G. pedratalhadensis*

(FREITAS et al., 2020).

2.2.5 *Mucor* Fresen

Taxóns do gênero *Mucor* surgem do substrato produzindo esporangióforos simples ou ramificados, simpodialmente e/ou monopodialmente, com columelas de vários formatos (ex. globosas, subglobosas, obovoides, elípticas, piriformes e cônicas) e esporângios apicais sem apófise (globosos e/ou subglobosos) (SCHIPPER, 1978a; BENNY; HUMBER; VOIGT, 2014; WAGNER et al., 2020). Estolões não são observados, enquanto rizóides podem ser produzidos por algumas espécies. Clamidosporos são presentes nas hifas de algumas espécies desse gênero, assim como zigosporângios com células suspensoras opostas e sem apêndices (SCHIPPER, 1978a; BENNY; HUMBER; VOIGT, 2014).

Schipper (1973, 1975, 1976, 1978a), descreveu trinta e nove espécies, quatro variedades, onze formas e distribuiu as espécies do gênero entre os grupos *M. mucedo*, *M. flavus*, *M. racemosus* e *M. amphibiorum*. A partir do início da década de 2000, novas espécies de *Mucor* foram propostas, com base em estudos morfológicos e filogenéticos,

elevando o conhecimento da taxonomia e distribuição desse gênero (PEI et al., 2000; ALVES et al., 2002; JACOBS; BOTHA, 2008; HERMET et al., 2012; VOGLMAYR; CLÉMENÇON, 2016; LI et al., 2016; CROUS et al., 2018; LIMA et al., 2020). Com base na análise das regiões ITS e LSU rDNA, Walther et al. (2013) reportaram mais um grupo para o gênero, *M. hiemalis*, transferiram sete espécies de *Mucor* para *Backusella* e sinonimizaram o gênero *Zygorhynchus* com *Mucor*: *M. exponens* (Burgeff) G. Walther & de Hoog (*Z. exponens* Burgeff), *M. fusiformis* G. Walther & de Hoog (*Z. psychrophilus* Schipper & Hintikka), *M. japonicus* (Komin.) G. Walther & de Hoog (*Z. japonicus* Komin.), *M. megalocarpus* G. Walther & de Hoog (*Z. macrocarpus* Y. Ling), *M. moelleri* (Vuill.) Lendn. f. *moelleri* (*Z. moelleri* Vuill.), *M. moelleri* f. *californiensis* (Hesselt., C.R. Benj. & B.S. Mehrotra) G. Walther & de Hoog (*Z. californiensis* Hesselt., C.R. Benj. & B.S. Mehrotra) e *M. multiplex* (R.Y. Zheng) G. Walther & de Hoog (*Z. multiplex* R.Y. Zheng).

Posteriormente, (WAGNER et al., 2020), ao revisarem o complexo de espécies *M. circinelloides* Tiegh. e o grupo *M. racemosus* Fresen., em uma abordagem polifásica, propuseram mais cinco novas espécies: *M. amethystinus* L. Wagner & G. Walther, *M. atramentarius* L. Wagner & G. Walther, *M. pseudolusitanicus* L. Wagner & G. Walther, *M. pseudocircinelloides* L. Wagner & G. e *M. variicolumellatus* L. Wagner & G. Walther Walther.

Representantes de *Mucor*, inclusive do complexo *M. circinelloides*, estão entre as espécies mais frequentes que ocasionam mucormicoses em pacientes com baixa imunidade (WAGNER et al., 2020; WAGNER et al., 2019). Esse gênero abriga espécies com elevado potencial biotecnológico, para a produção de etanol (ex: *M. indicus* Lendn.) e de proteases eficientes no combate de doenças tromboembólicas (ex: *M. subtilissimus* Oudem.) (MOLAVERDI et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2017). Para o Brasil, foram reportadas trinta e oito espécies de *Mucor*, incluindo seis novas espécies: *M. merdicola* C.A. de Souza & A.L. Santiago, *M. caatinguensis* A.L. Santiago, C.A. de Souza & D.X. Lima (LIMA; SANTIAGO; SOUZA-MOTTA, 2016), *M. pernambucoensis* (LIMA et al., 2018a), *M. septatum* C.A. de Souza, T.R. Cordeiro & A.L. Santiago (SOUZA et al., 2018), *M. souzae* (CROUS et al., 2018) e *Mucor merdophylus* D.X. Lima, R.W. Barreto, H.B. Lee & A.L. Santiago (LIMA et al., 2020).

2.2.6 *Rhizopus* Ehrenb

Espécies de *Rhizopus* exibem crescimento habitualmente rápido em meios de cultura, produzindo micélio aéreo com esporangióforos simples ou ramificados, oriundos de estolões, isolados ou em grupos, formando cachos. Os rizoides podem ser septados ou não, comumente opostos aos esporangióforos. Os esporângios têm parede deliquescente e envolvem columelas com apófise discreta e com formatos variados, podendo ser lisas ou rugosas. Os esporangiosporos podem ser lisos, estriados, globosos, subglobosos e angulados (ZHENG et al., 2007).

O gênero *Rhizopus* foi dividido em três grupos: *R. stolonifer* (Ehrenb.) Vuill., *R. oryzae* Went & Prins. Geerl. e o *R. microsporus* Tiegh., por Schipper (1984) e Schipper e Stalpers (1984), com base nas características fenotípicas e nas temperaturas de crescimento. Zheng et al. (2007), ao revisarem o gênero, com base na morfologia e nas temperaturas de crescimento, descreveram 10 espécies e nove variedades de *Rhizopus*. Em seguida, Liu, Huang e Zheng (2008) propuseram a sinonimização de *R. arrhizus* var. *rouxii* (Calmette) J.J. Ellis com *R. arrhizus* var. *arrhizus* e de *R. microsporus* var. *oligosporus* (*R. oligosporus*) com *R. arrhizus* var. *arrhizus*. *Rhizopus tonkinensis* Vuill. e *R. azygosporus* G.F. Yuan & S.C. Jong. receberam novas combinações: *R. arrhizus* var. *tonkinensis* (Vuill.) R.Y. Zheng & X.Y. Liu e *R. microsporus* var. *azygosporus* (G. F. Yuan & S. C. Jong.). Dolatabadi et al. (2014), após um estudo baseado na morfologia, fisiologia, genética molecular e em espectrometria de massa (MALDI-ToF), concluíram que todas as variedades de *R. microsporus* são sinônimas e devem ser citadas como *R. microsporus* Tiegh.

Táxons de *Rhizopus* são relatados com elevadas frequências de casos de mucormicose (WAGNER et al., 2019). Porém, são espécies com elevada importância industrial, como *R. arrhizus*, que produz ácido fumárico (LIU et al., 2017) e biossurfactantes emulsificantes com a capacidade de serem utilizados na recuperação de ambientes contaminados com óleo e hidrocarbonetos (PELE et al., 2019). Assim como *R. microspocus* (citado como *R. oligosporus*), que pode ser utilizado como alimento (WAINAINA et al., 2020).

2.2.7 *Syncephalastrum* J. Schröt

Representantes desse gênero são comumente isolados de solo, excrementos de herbívoros, vegetais e de humanos imunocomprometidos (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; ALVES et al., 2017; DUONG et al., 2016; SINGH et al., 2021). Os espécimes de *Syncephalastrum* exibem esporangióforos simples ou ramificados, com merosporângios cilíndricos, uni ou multiesporados, oriundos de vesículas de formatos variados (ex. globosas, subglobosas, ovóides e subpiriformes) (MISRA, 1975; DUONG et al., 2016; ZHENG; CHEN; HU, 1988). Os zigosporângios são similares aos apresentados pelas espécies de *Mucor* (BENJAMIN, 1959).

As espécies descritas até 1959 foram sinonimizadas com *S. racemosum* Cohn ex J. Schröt., por falta de distinção morfológica entre as espécies (BENJAMIN, 1959). Quase trinta anos depois, Zheng, Chen e Hu (1988) descreveram *S. monosporum* R.Y. Zheng, G.Q. Chen & F.M. Hu. Recentemente, uma nova espécie foi descrita para o gênero, *S. contaminatum* Urquhart A.S. & A. Idnurm, isolada como contaminante de laboratório na Austrália (URQUHART et al., 2021).

Syncephalastrum racemosum é capaz de biodegradar o inseticida carbofuran (2,3-di-hidro-2,2-dimetil-benzofuranil-N-metilcarbamato), podendo ser utilizado na recuperação de áreas impactadas (SOUZA et al., 2020), além de produzir α -amilase em processos de fermentação de subprodutos agroindustriais (FREITAS; MARTINS; FERREIRA, 2014).

2.2.8 *Umbelopsis* Amos & H.L. Barnett

Esse gênero foi escrito por AMOS e Barnett (1966), concomitantemente à descrição a primeira espécie, *U. versiformis* Amos & Barnett, isolada de raízes de Carvalho e de solo rizosférico, como um deuteromiceto (AMOS; BARNETT, 1966). Arx (1982) tratou o gênero como parte da ordem *Mucorales* e, em seguida, mesmo

com muitas espécies tendo sido descritas como *Micromucor* e *Mortierella*, Yip (1986) sugeriu que as espécies descritas como *Micromucor* fossem transferidas para *Umbelopsis*. Com base na análise molecular de RFLP (ITS1 e LSU rDNA), as espécies descritas para os gêneros supracitados foram transferidas para *Umbelopsis* por Meyer e Walter (2003), que ainda propuseram três combinações de espécies (*U. isabellina* (Oudem.) W. Gams, *U. ramanniana* (Möller) W. Gams e *U. autotrophica*), além da família Umbelopsidaceae W. Gams & W. Mey para acomodar as espécies do gênero.

Os espécimes de *Umbelopsis* comumente exibem esporangióforos eretos ou verticilados com esporângios apicais, uni ou multiesporados, que podem apresentar coloração vermelha ou ocrácea e columelas aparentes ou não. Os esporângiosporos possuem formas globosa, elipsóide ou poliédrica. Clamidósporos frequentes com partículas de óleo. Zigosporângios são desconhecidos (SPATAFORA et al., 2016).

Atualmente o gênero abrange dezoito espécies: *U. angularis* W. Gams & M. Sugiy, *U. autotrophica*, *U. changbaiensis* Y.N. Wang, X.Y. Liu & R.Y. Zheng, *U. dimorpha* Mahoney & W. Gams, *U. fusiformis* H.Y. Yip, *U. gibberispora* M. Sugiy., Tokum. & W. Gams, *U. heterosporus* C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago, *U. isabellina*, *U. longicollis* (Dixon-Stew.) Y.N. Wang, X.Y. Liu & R.Y. Zheng, *U. nana* (Linnem.) Arx, *U. ovata* (H.Y. Yip) H.Y. Yip, *U. ramanniana*, *U. sinsidoensis* Hyang B. Lee & T.T.T. Nguyen, *U. swartii* H.Y. Yip, *U. versiformis* Amos & H.L., *U. vinacea* (Dixon-Stew.) Arx, *U. westeae* H.Y. Yip e *U. wiegerinckiae* Sand.-Den (INDEX...,).

Umbelopsis isabellina pode ser empregada na produção de biodiesel (PAPANIKOLAOU; AG-GELIS, 2019), assim como na produção de biomoléculas com importância industrial por conta seu metabolismo lipídico, que se realmente compreendido pode levar a técnicas eficientes na produção de produtos biotecnológicos (DOUROU et al., 2017).

2.3 O SEMIÁRIDO E BREJOS DE ALTITUDES NORDESTINOS

Com área de 982.563,3 km² e 1.133 municípios, o semiárido compreende 63% do Nordeste brasileiro incluindo florestas tropicais secas (caatinga e cerrado). Caracterizado pelas baixas oscilações pluviométricas com média anual de 800 mm e alta incidência de raios solares, com temperatura média anual de 23°C a 27 °C, o Semiárido brasileiro sofre com evapotranspiração superior (2000 mm ao ano) ao índice de precipitação resultando em períodos frequentes de seca (SILVA et al., 2010).

À vista disto, a vegetação de baixo porte, com dossel e folhagem decídua e ramificação profusa (SILVA et al., 2010), possui mecanismos adaptativos tanto morfológicos como fisiológicos, por exemplo, espinhos, microfilia, cutículas impermeáveis, capacidade de armazenamento de água em raízes, caules modificados, como também o fechamento de estômatos durante os períodos mais quentes do dia, o que ocorre com plantas xerófilas (GIULIETTI et al., 2006).

Dentro do Semiárido existem “áreas de exceção” com características distintas de clima, vegetação, precipitação e topografia das apresentadas em volta (AB’SÁBER, 2006). Essas áreas, também denominadas de brejos de altitude, são encontradas em fronteiras de regiões de Caatinga com regiões de Mata Atlântica ao leste, Floresta Amazônica ao oeste e Cerrado ao sul (SILVA et al., 2010). Essas ligações entre a Amazônia e Mata Atlântica datam desde o Plesitoceno e se formaram por conta de mudanças climáticas que influenciaram a expansão e retração dessas áreas. Tornando possível o deslocamento de organismos entre ecossistemas neotropicais, que conseqüentemente contribuíram para a formação de florestas úmidas, os brejos de altitude, bem como refúgios ecológicos para diferentes espécies de organismos (SANTOS et al., 2007; LIMA et al., 2018).

Esses brejos de altitude possuem, em média, níveis de precipitação acima de 1,200 mm por ano e, quando comparados às áreas adjacentes, apresentam temperaturas mais amenas e maiores níveis de umidade (SILVA et al., 2010). Também chamados de florestas serranas, os brejos de altitude localizados no nordeste brasileiro são ecorregiões com altitudes variando entre 600 a 1,100 m. Estas florestas ocorrem, principalmente, devido a características topográficas que possibilitam o aumento pluviométrico em relação às áreas de Caatinga que as permeiam (ARAÚJO, 2011).

De acordo com (MARQUES; SILVA; SILVA, 2014), brejos de altitude apresentam também diversidade de distribuição amazônica e espécies serranas do sul e sudeste do Brasil. São identificadas 43 áreas de brejos de altitude no nordeste brasileiro, divididas entre o agreste e o sertão dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (SOBRINHO, 1971). De acordo com Sobrinho (1971) no estado de Pernambuco são encontrados 16 brejos, localizados nos seguintes municípios: Agrestina, Águas Belas, Arcoverde, Bezerros, Belo Jardim, Buíque, Camocim de São Félix, Caruaru, Exu, Floresta, Gravatá, Moxotó, Pesqueira, Poção, São José, Sanharó, Tacaratu, Triunfo.

2.4 MUCORALES ISOLADOS DE BREJOS DE ALTITUDE PERNAMBUCANOS

Estudos relacionados ao conhecimento da diversidade dos Mucoromycota reportaram 64 espécies, até o presente, para solos de brejos de altitude de Pernambuco, incluindo espécies novas e primeiras ocorrências (SANTIAGO; MAIA, 2011; SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; ALVES et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; ALVES et al., 2017; LIMA et al., 2018a; CROUS et al., 2018; LIMA et al., 2018; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; CROUS et al., 2019; CORDEIRO et al., 2020; SOUZA et al., 2020; LIMA et al., 2020; LIMA et al., 2021; ALVES et al., 2021b; ALVES et al., 2021a).

Santiago e Maia (2011) isolaram de solo do Município de Triunfo o primeiro registro brasileiro de *Apophysomyces elegans* P.C. Misra, K.J. Srivast. & Lata. Nesta mesma área, Santiago, Santos e Maia (2013) reportaram 8 espécies dos gêneros: *Absidia*, *Cunninghamella*, *Lichtheimia*, *Mucor* e *Syncephalastrum*. ALVES et al. (2016) isolou 23 táxons de *Mucorales* em três brejos de altitude pernambucanos, 13 na Serra dos Cavalos e 21 na Serra de Jenipapo, pertencentes aos gêneros *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus*, e 16 em Serra Negra, pertencentes aos gêneros *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia* e *Rhizopus*.

Tibpromma et al. (2017) isolaram *Gongronella brasiliensis* C.A.F. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago de amostras de solo coletadas em Taquaritinga do Norte. (ALVES et al., 2017) isolaram de solo, localizado na Serra dos Cavalos, *Cunninghamella clavata* como primeira ocorrência para o Brasil. (SOUZA et al., 2018) isolaram, do solo do Brejo da Madre de Deus, *Mucor septatum* C.A.F. de Souza, T.R.L. Cordeiro & A.L. Santiago e descreveram como uma nova espécie. (CROUS et al., 2018) também descreveram uma nova espécie, *Mucor souzae* C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago, isolada do Município de Triunfo.

Lima et al. (2018) isolaram e descreveram uma nova espécie, *Mucor pernambucoensis* C.L. Lima, D.X. Lima & A.L. Santiago, do solo da cidade de Bonito. Lima et al. (2018b) isolou, de solos do brejo da Serra de Bonito e brejo do Sítio da Palmeira, 39 espécies de *Mucorales* distribuídas em nove gêneros: *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. Souza (2019) isolou de amostras de solo de três brejos de altitude 70 táxons de Mucoromyceta, sendo 28 táxons do brejo da Serra do Bituri, pertencentes a *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Umbelopsis*, 28 táxons do brejo de Taquaritinga do Norte, pertencentes a *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mortierella*, *Mucor* e *Rhizopus*, e 19 táxons do brejo do Sítio Carro Quebrado de *Absidia*, *Actinomucor*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*.

Crous et al. (2019) descreveram uma nova espécie, *Backusella azygospora* T.R.L. Cordeiro, Hyang B. Lee & A.L. Santiago, a partir de amostras de solo do município de Saloá. Nessa mesma área foram isoladas pela primeira vez outras duas espécies, *Absidia multispora* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago e *Absidia saloensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago (CORDEIRO et al., 2021). *M. variicolumellatus* L. Wagner & G. Walther foi reportado como primeira ocorrência para a região Neotropical, após amostras de solo do brejo de altitude de Taquaritinga do Norte serem analisadas por Souza et al. (2020). Lima et al. (2020) descreveram como espécie nova *Absidia cornuta* D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. de uma área de brejo de altitude em Garanhuns.

Lima et al. (2021) descreveram *A. bonitoensis* C.L. Lima, isolada de solo do Brejo de Bonito. *Backusella gigacellularis*, isolada durante um levantamento de fungos mucorales no Brejo da Serra do Benedito, foi reportada como primeira ocorrência para o nordeste brasileiro por Alves et al. (2021b). Ainda nesse mesmo ano, Alves et al. (2021a) isolou 29 táxons de Mucorales de solos de brejos de altitude pernambucos, sendo: 19 da Serra do Jardim distribuídos entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus*; 17 na Serra do Vento pertencente aos gêneros de *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichthemia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*; e 22 na Serra do Benedito distribuídos entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor* e *Rhizopus*.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Conhecer a influência da altitude na comunidade de Mucoromycota de solo dos brejos de altitude da Reserva particular do patrimônio natural (RPPN) do Benedito e da Serra do Comunaty.

3.2 ESPECÍFICOS

- Conhecer as comunidades de Mucoromycota em dois brejos de altitude de Pernambuco;
- Caracterizar a α -diversidade de espécies de Mucoromycota nos brejos, enfatizando as métricas de frequência de ocorrência, abundância relativa e os índices de diversidade de Shannon e Simpson;
- Estudar a influência da precipitação pluviométrica e das principais variáveis químicas do solo sobre a estrutura das comunidades de Mucoromycota nos brejos estudados;
- Conhecer a influência da altitude na estruturação das comunidades de Mucoromycota nos brejos estudados;
- Contribuir com a preservação *ex situ* (no Herbário URM, na Micoteca URM e no Gen-Bank) da diversidade e do patrimônio genético dos fungos Mucoromycota.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREAS DE ESTUDO

As amostras de solo foram coletadas nos brejos de altitude da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Benedito e da Serra do Comunaty. A RPPN do Benedito (Figura 1) está situada na Fazenda Paraíso, Mesorregião do Agreste Pernambucano e na Microrregião do Vale do Ipojuca, localizada no município de Gravatá (8°12'04"S 35°33'53"W), no estado de Pernambuco (CPRH, a). A RPPN possui 55,5 hectare (ha), sendo 18,6 desses de mata úmida preservada (CPRH, a), com gradientes que exibem o aspecto florístico típico de brejo de altitude, o mais alto com 750m (topo) e o mais baixo 650m. O município de Gravatá está a 447 metros (m) acima do nível do mar, apresentando relevo de vales profundos e estreitos dissecados, vegetação de Florestas Subcaducifólia e Caducifólia. O clima é tropical chuvoso, com verão seco, iniciando a estação de chuvas no mês de janeiro, podendo chegar até outubro (CPRH, b). A pluviosidade é de 945 mm/ano e a temperatura média é de 23 °C (<https://pt.climate-data.org>).

A Serra do Comunaty (Figura 2) localiza-se no Município de Águas Belas (09° 06.061'S 037° 03.148'W), na Mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipanema, em Pernambuco. O município apresenta altitude de até 1.000 m, com relevo e vegetação próprios das áreas agrestes (BELTRÃO, 2005). No entanto, a área de coleta possui ambientes diferenciados, com o gradiente mais alto (topo, 900 m) exibindo aspecto florístico típico de brejo de altitude. O intermediário (meio, 600 m) apresentava vegetação arbustiva e interferência antrópica feita com plantação de milho e banana. Enquanto o gradiente mais baixo (fundo, 300m) apresentava características de Caatinga. O município de Águas Belas possui clima do tipo tropical chuvoso, com verão seco, mas com estação chuvosa que se estende de fevereiro a setembro (BELTRÃO, 2005). A pluviosidade média anual é de 373 mm e a temperatura média é de 24.6 °C, podendo variar entre 18 e 34,5 °C.¹

¹ (<<https://pt.climate-data.org>>)

Figura 1 – Aspecto florístico da Reserva Particular Patrimônio Natural do Benedito.



Figura 2 – Aspecto florístico do brejo da Serra do Comunaty.



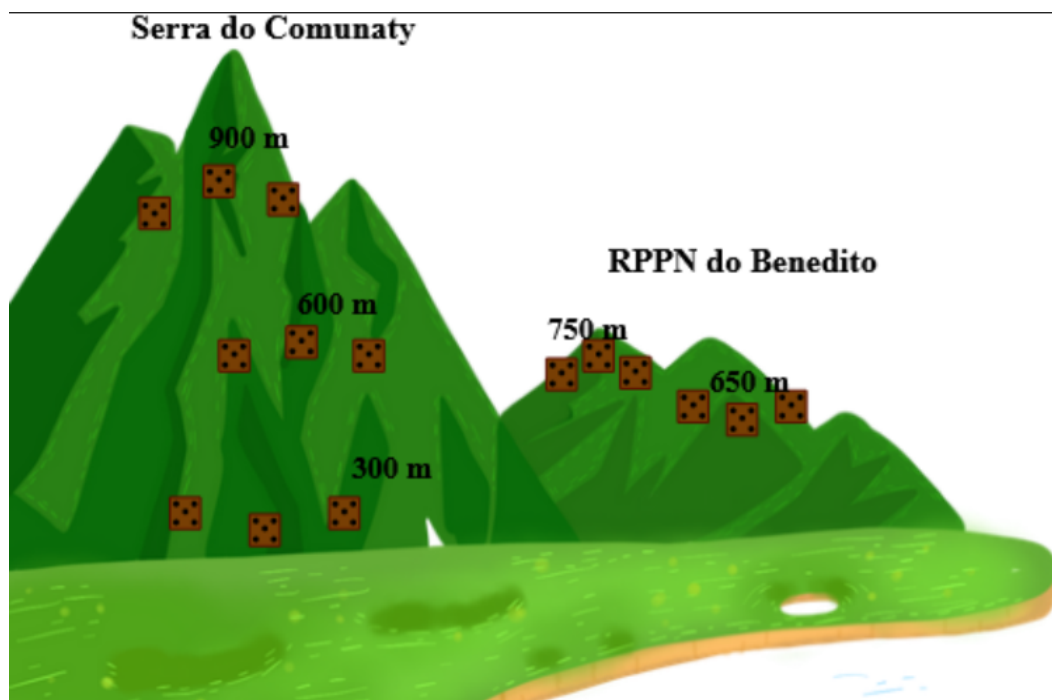
4.2 COLETAS DE SOLO

Três coletas de solo foram realizadas em cada brejo, nos períodos chuvoso e de estiagem. No brejo de altitude da RPPN do Benedito, foram coletadas amostras em outubro de 2018,

fevereiro e março de 2019, enquanto, na Serra do Comunaty, as coletas foram realizadas em agosto de 2018, maio e julho de 2019. As amostras foram coletadas em diferentes gradientes de altitude, 650 m (fundo) e 750 m (topo), na RPPN do Benedito, e em 300 m (fundo), 600 m (meio) e 900 m (topo), na Serra do Comunaty.

Em cada brejo, três quadrantes de 25 m² (5 x 5 m) foram aleatoriamente demarcados com distância mínima de 10 m entre os mesmos (Figura 3). Em cada quadrante, foram coletadas cinco amostras de solo, em pontos equidistantes a 5 cm de profundidade, totalizando 45 amostras de solo por coleta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos previamente esterilizados, etiquetados, conservados em caixas isotérmicas e encaminhados ao Laboratório de Pós-graduação I do Departamento de Micologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). No laboratório, foram homogeneizados volumes iguais das cinco amostras de cada quadrante, de cada um dos gradientes de altitude, originando uma amostra composta por quadrante, totalizando 3 amostras compostas por gradiente, totalizando 6 e 9 amostras compostas por coleta nos brejos da RPPN do Benedito e da Serra do Comunaty, respectivamente. Os componentes P, K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, S, C, H+Al, V%, m% matéria orgânica e CTC referentes a uma coleta de solo, em cada brejo, foram quantificados no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

Figura 3 – Metodologia com pontos de coleta para as áreas de brejos de altitude do semiárido de Pernambuco. Observar os três quadrantes (quadrados marrons) de onde foram coletadas as cinco amostras de solo, em cada gradiente de altitude..



4.3 ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCOROMYCOTA

Para o isolamento, três miligramas de solo foram espalhadas sobre o meio de cultura ágar gérmem de trigo (BENNY, 2008), acrescido de cloranfenicol (80 mg.L⁻¹), contido em placas de Petri, em triplicata. O crescimento das colônias foi observado por 96 horas, à temperatura ambiente (28 ± 2°C). Para a purificação dos Mucoromycota, fragmentos das colônias foram transferidos separadamente para o meio ágar extrato de malte (AEM) (BENNY, 2008), adicionado de cloranfenicol (80 mg.L⁻¹), contido em placas de Petri e, após confirmada a pureza, transferidos para tubos de ensaio contendo batata dextrose ágar – BDA (LACAZ et al., 2002).

Os espécimes foram identificados pela observação das características macroscópicas (coloração, aspecto e diâmetro das colônias) e microscópicas (microestruturas), de acordo com descrições como: Benny (1982), Schipper (1978b, 1984), Hesseltine e Fennell (1955), Ru-Yong e Gui-Qing (2001), Zheng et al. (2007), Benjamin (1959), Wang, Liu e Zheng (2014).

4.4 EXTRAÇÃO DO DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO

Algumas das possíveis espécies novas de Mucoromycota, bem como as raras e primeiras citações para o Brasil, tiveram as regiões ITS e LSU do rDNA sequenciadas para a confirmação genética desses novos táxons. A biomassa foi obtida de culturas puras e a extração do DNA genômico foi realizada conforme Oliveira et al. (2013). Foram amplificadas as regiões ITS e LSU do rDNA utilizando os iniciadores ITS1 e ITS4 (WHITE et al., 1990), LR1 e LSU2 (SCHMITT et al., 2009), respectivamente. Os produtos amplificados foram purificados com *PureLink – PCR Purification Kit (Invitrogen)* e sequenciados no Laboratório Central de Sequenciamento – Universidade Federal de Pernambuco.

4.5 ANÁLISE FILOGENÉTICA

As sequências obtidas das espécies isoladas foram comparadas com as depositadas no GenBank utilizando o Blastn para confirmação genética dos táxons. As sequências foram alinhadas com o auxílio do programa Clustal X (LARKIN et al., 2007) e editadas usando o programa BioEdit (HALL et al., 1999). Antes da análise filogenética, o modelo de substituição de nucleotídeos foi estimado utilizando Topali 2.5 (MILNE et al., 2004). A caracterização molecular final foi

realizada com a avaliação filogenética e a construção de árvores Bayesianas em MrBayes 3.1.2 (RONQUIST; HUELSENBECK, 2003) e de máxima verossimilhança (GUINDON; GASCUEL, 2003), executadas com o auxílio do programa Topali 2.5.

4.6 ANÁLISE DE DADOS

A alfa e betadiversidade das comunidades de Mucoromycota foram acessadas com base na contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) por grama de solo em placas de Petri. Apenas as placas de Petri com três ou mais isolados identificados ao nível de espécie foram selecionadas para as análises estatísticas. Em seguida, o procedimento de rarefação foi realizado, em que três espécies foram selecionadas aleatoriamente, de cada placa de Petri, para os cálculos das diversidades de Shannon e Simpson, frequência de ocorrência, abundância e riqueza de espécies, de acordo com métodos disponibilizados na biblioteca R 'vegan' versão 2.5-7 (OKSANEN, 2010).

A influência das variáveis ambientais sobre a estrutura das comunidades de Mucoromycota foi avaliada por meio da análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA). A matriz de distância de Bray-Curtis foi utilizada para o cálculo do modelo multivariado, de acordo a análise de redundância baseada na distância (dbRDA), de acordo a estatística utilizada na função 'capscale' (ANDERSON; WILLIS, 2003; LEGENDRE; ANDERSON, 1999) da biblioteca R 'vegan'. A análise de similaridade de porcentagens (CLARKE, 1993) foi utilizada para determinar quais espécies contribuem mais para a diferença da estrutura das comunidades entre os diferentes perfis de elevação do terreno nos brejos de altitude. Nesse caso, também foi utilizada, para os cálculos, a matriz de Bray-Curtis e função 'simper' da biblioteca 'vegan'.

As análises de correlações entre a abundância de espécies e os dados ambientais também foram realizadas usando a biblioteca 'vegan'. A estatística ρ de Spearman foi usada para estimar uma medida de associação monotônica. Os valores de probabilidade (p) foram calculados com base na cauda superior da distribuição de Spearman's, utilizando aproximação da série Edgeworth, através do algoritmo AS66 (HILL, 1973).

As interações entre espécies foram analisadas utilizando estimativas baseadas no coeficiente de correlação SparCC, disponíveis na biblioteca R 'SpiecEasi' versão 1.1.0 (KURTZ et al., 2015). Apenas as correlações com $p < 0,05$ foram selecionadas para representação gráfica das redes e cálculos das métricas através do *software* Gehpi versão 0,9.2 (BASTIAN; HEYMANN; JACOMY, 2009).

4.7 CRESCIMENTO, DESCRIÇÃO DE *ABSIDIA AGUABELENIS* SP. NOV.

A espécie nova, isolada no presente estudo, foi cultivada a partir da técnica decolônia central, nos meios ágar extrato de malte (AEM) e BDA (BENNY, 2008), eincubada a 15°, 20°, 25°, 30° e 40° C, no escuro, em triplicata. A cada 24 horas, o diâmetro das colônias foi medido, até que as mesmas tivessem preenchido toda a placa de Petri (9 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura). A espécie foi descrita a 25° C, AEM, no escuro, após 5 dias de incubação, e variações morfológicas macro e microscópicas, nas diferentes temperaturas e meios de cultura, foram anotadas. Foram observados os aspectos macro (crescimento, coloração e aspecto das colônias) e microscópicos (tamanho, forma e cor dos rizóides, esporangióforos, esporângios, apófises, columelas e esporangiosporos) das colônias. No mínimo, 50 medições foram realizadas para cada microestrutura, sob microscópio de luz Leica DM500. As microestruturas foram medidas a partir de culturas em lâmina montadas em KOH (3%) ou em Azul de Amann, para observação. Outras três das espécies também isoladas na Serra do Comunaty representam primeiras ocorrências para o Brasil.

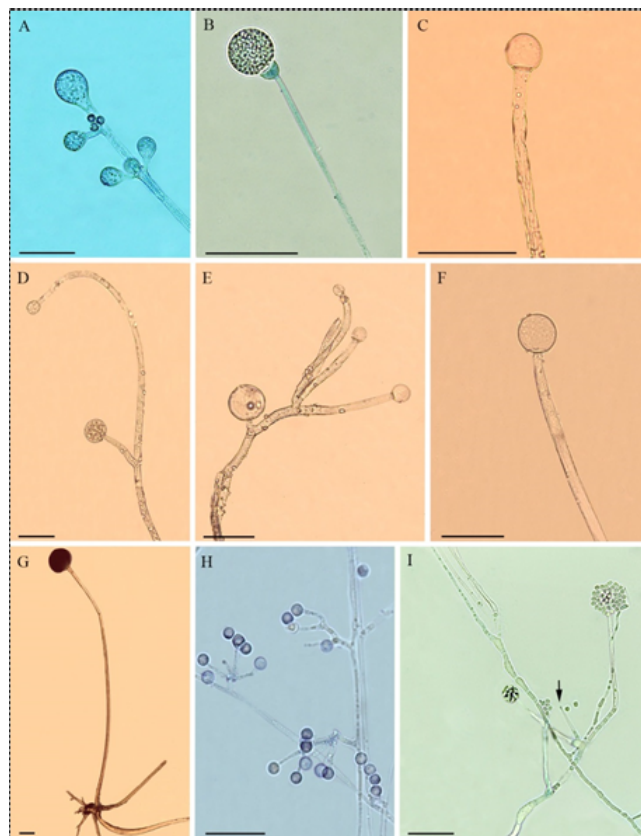
4.8 INCORPORAÇÃO DAS CULTURAS DOS ESPÉCIMES ISOLADOS NA COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM, DE LÂMINAS NO HERBÁRIO URM E DAS SEQUÊNCIAS ITS E LSU DORDNA NO *GENBANK*

Culturas das espécies isoladas estão em processo de incorporação ao acervo da Micoteca URM, da Universidade Federal de Pernambuco, em óleo mineral. Essa etapa ainda está em andamento, pois o serviço de recebimento das culturas pela Micoteca URM sofreu atraso pela pandemia causada pelo COVID-19. Lâminas montadas com azul de Amann, referentes à espécie nova, *Absidia aguabelensis*, foram depositadas no Herbário URM da UFPE. As sequências das regiões ITS e LSU do rDNA da nova espécie isolada foram incorporadas no *GenBank*, de acordo com protocolo de depósito estabelecido por esse banco de dados.

5 RESULTADOS

5.1 DIVERSIDADE E RIQUEZA DE ESPÉCIES DE MUCOROMYCOTA NO SOLO DO BREJO DE ALTITUDE DA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL (RPPN) DO BENEDITO.

Figura 4 – Fungos isolados do brejo da RPPN do Benedito e/ou da Serra do Comunaty. A. *Cunninghamella bertholletiae*: Esporóforo com ramificações verticiladas e vesículas aparentes. B. *Gongronella butleri*: Esporangióforo com esporângio apofisado. C. *Mucor fragilis*: Esporangióforo com columela. D. *Mucor circinelloides*: Esporangióforo principal com columela aparente e ramificação com esporângio. E. *Mucor pseudocircinelloides*: Esporangióforo ramificado com esporângio jovem e columelas. F. *Mucor pseudolusitanicus*: esporangióforo com columela. G. *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus*: esporangióforo com esporângio e rizóides. H. *Umbelopsis nana*: Esporangióforos ramificados com esporângios. I. *Umbelopsis isabelina*: esporangióforos com esporângios e esporangióforo sem columela (seta). Escala = 50 μ m.



Na RPPN do Benedito, foram identificadas 18 espécies de Mucoromycota, sendo 16 da ordem Mucorales, pertencentes aos gêneros *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor*, *Rhizopus*, e duas da ordem Umbelopsidales (*Umbelopsis*) (Figura 4), com total de 63 espécimes identificados ($1,71 \times 10^4$ UFC.g⁻¹). A maior riqueza de espécies foi observada para gênero *Mucor*, com 7 espécies, seguidopor *Gongronella* (4 espécies) e *Umbelopsis* (3)

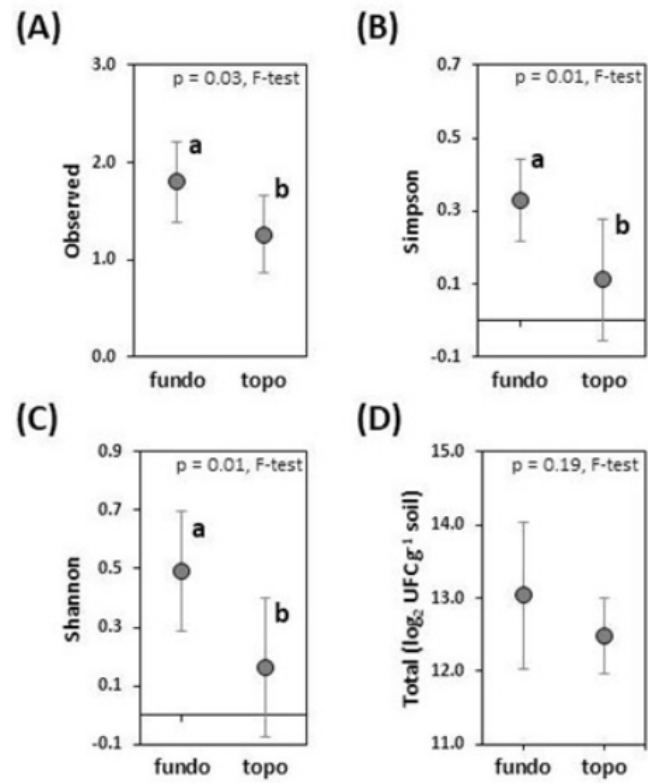
Tabela 1 – Unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC.g⁻¹) de Mucoromycota ao longo do perfil de elevação do terreno no brejo de altitude da RPPN do Benedito.

Mucoromycota	Fundo	Topo	Total
<i>Absidia cornuta</i> D.X. Lima, C.A. de Souza, H.B. Lee & A.L. Santiago	4×10^2	0	4×10^2
<i>Backusella lamprospora</i> (Lendn.) Benny & R.K. Benj.	8×10^2	$3,33 \times 10^2$	$1,13 \times 10^3$
<i>Cunninghamella bertholletiae</i> Stadel	8×10^2	0	8×10^2
<i>Gongronella</i> sp.1 Ribaldi	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>G. butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco	8×10^2	0	8×10^2
<i>G. lacrispora</i> Hesselt. & J.J. Ellis	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>G. pedratalhadensis</i> L.W.S. Freitas, H.B. Lee & A.L. Santiago	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 1	2×10^2	0	2×10^2
<i>Mucor</i> sp. 4	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>M. circinelloides</i> Tiegh.	2×10^2	$3,33 \times 10^3$	$3,53 \times 10^3$
<i>M. fragilis</i> (Tode) Traverso	0	$3,66 \times 10^3$	$3,66 \times 10^3$
<i>M. irregularis</i> Stchigel, Cano Guarro & E. Álvarez	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>M. subtilissimus</i> Oudem.	2×10^2	0	2×10^2
<i>M. variicolumellatus</i> L. Wagner & G. Walther	0	$9,99 \times 10^2$	$9,99 \times 10^2$
<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Umbelopsis</i> sp. 1	6×10^2	0	6×10^2
<i>Umbelopsis</i> sp. 2	2×10^2	$1,33 \times 10^3$	$1,53 \times 10^3$
<i>U. isabelina</i> (Oudem.) W. Gams	6×10^2	$6,66 \times 10^2$	$1,27 \times 10^3$
TOTAL	$4,8 \times 10^3$	$1,23 \times 10^4$	$1,71 \times 10^4$

(Tabela 1). Quatro espécimes (*Mucor* sp. 1 e sp. 4, *Umbelopsis* sp. 1 e sp. 2.) apresentaram variações morfológicas que os diferenciam das demais espécies, sendo prováveis novas espécies. As análises moleculares (regiões ITS e LSU do rDNA) desses espécimes estão em andamento para confirmação genética dos mesmos.

De acordo com as médias das métricas de diversidade de fungos no solo do brejo de altitude da RPPN do Benedito, tanto o número médio de espécies de Mucoromycota por placa de Petri (Figura 5A), quanto as diversidades de Simpson (Figura 5B) e de Shannon (Figura 5C), foram significativamente maiores no fundo ($p < 0.05$) do que no topo do brejo. Embora o número absoluto de unidades formadoras de colônia por grama de solo tenha sido superior no topo do brejo (Tabela 1), estatisticamente, não houve variação significativa ($p = 0,19$) do número total de UFC por grama de solo entre o topo e o fundo do brejo (Figura 5D).

Figura 5 – Médias e desvios padrão das métricas de diversidade alfa de espécies de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito. (A) Número médio de espécies de Mucoromycota por placa de Petri, (B) índice de diversidade de Simpson, (C) índice de diversidade de Shannon-Wiener, (D) número total de UFC por grama de solo. A mesma letra minúscula indica que não houve diferença significativa de acordo com o teste de diferença mínima significativa de Fisher (LSD) com nível de significância de 5%. Dados rarefeitos.



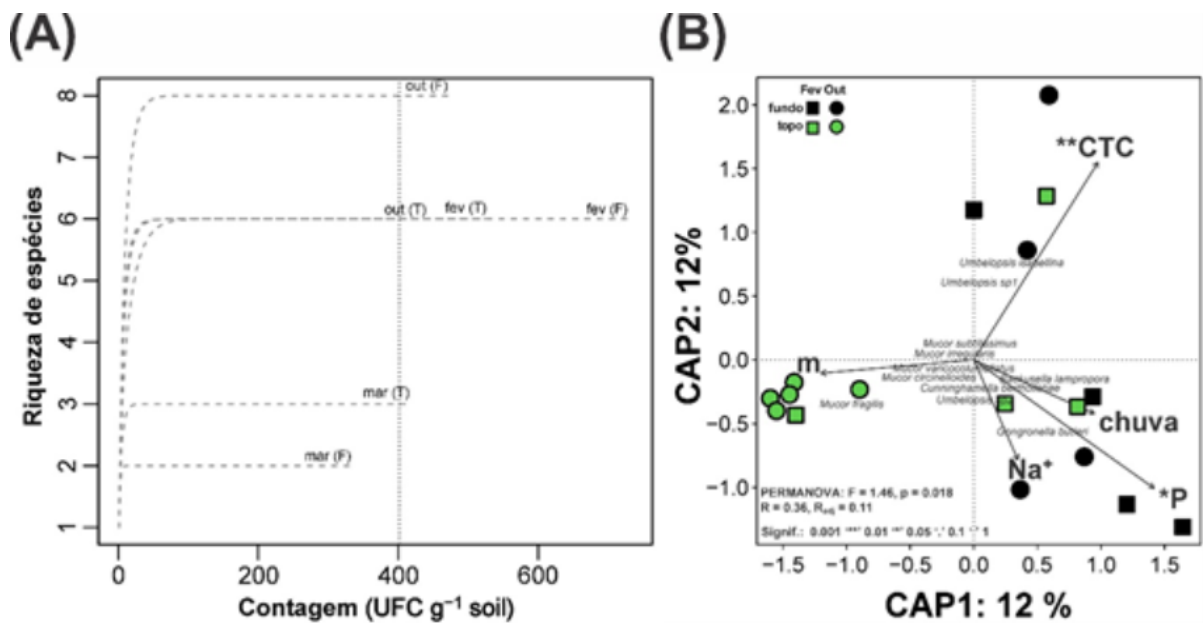
Com base nos dados rarefeitos, do fundo do brejo, a maior riqueza de espécies de Mucoromycota foi observada no mês de outubro, seguida por fevereiro e março. Com relação à abundância do fundo do brejo, os maiores valores aos números de UFC.g⁻¹de solo foram observados, em ordem decrescente, para outubro, fevereiro e março. Para o topo desse brejo, a maior riqueza foi verificada em outubro e fevereiro, seguida pelo mês de março. Quanto à abundância do topo do brejo, os maiores números de UFC.g⁻¹de solo foram observados no mês de fevereiro, seguida por outubro e março (Figura 6A).

No geral, as comunidades de Mucoromycota do topo do brejo foram negativamente influenciadas pela precipitação pluviométrica, capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P) disponível e Na⁺, mas positivamente associadas à saturação de Al³⁺ (m%), ocorrendo o contrário para as comunidades do fundo. Para o mês de março, não foi obtido o número mínimo necessário de isolados para a realização da estatística multivariada.

As espécies do gênero *Mucor* se distanciaram da variável precipitação pluviométrica, sendo positivamente influenciadas pela saturação por Al³⁺ (m%), enquanto *B. lamprospora* e *G.*

butleri demonstraram correlação positiva com a precipitação pluviométrica e com os teores de P e Na^+ disponíveis no solo. *Umbelopsis* sp. 1 e *U. isabelina* exibiram correlação positiva com a CTC. Para o fundo, nos meses de outubro e fevereiro, *G. butleri* foi a espécie mais (positivamente) influenciada pela presença do sódio e fósforo no solo, enquanto, para o fundo, *M. fragilis* esteve positivamente correlacionado com o teor de alumínio e negativamente influenciado pelas outras variáveis testadas (Figura 6B).

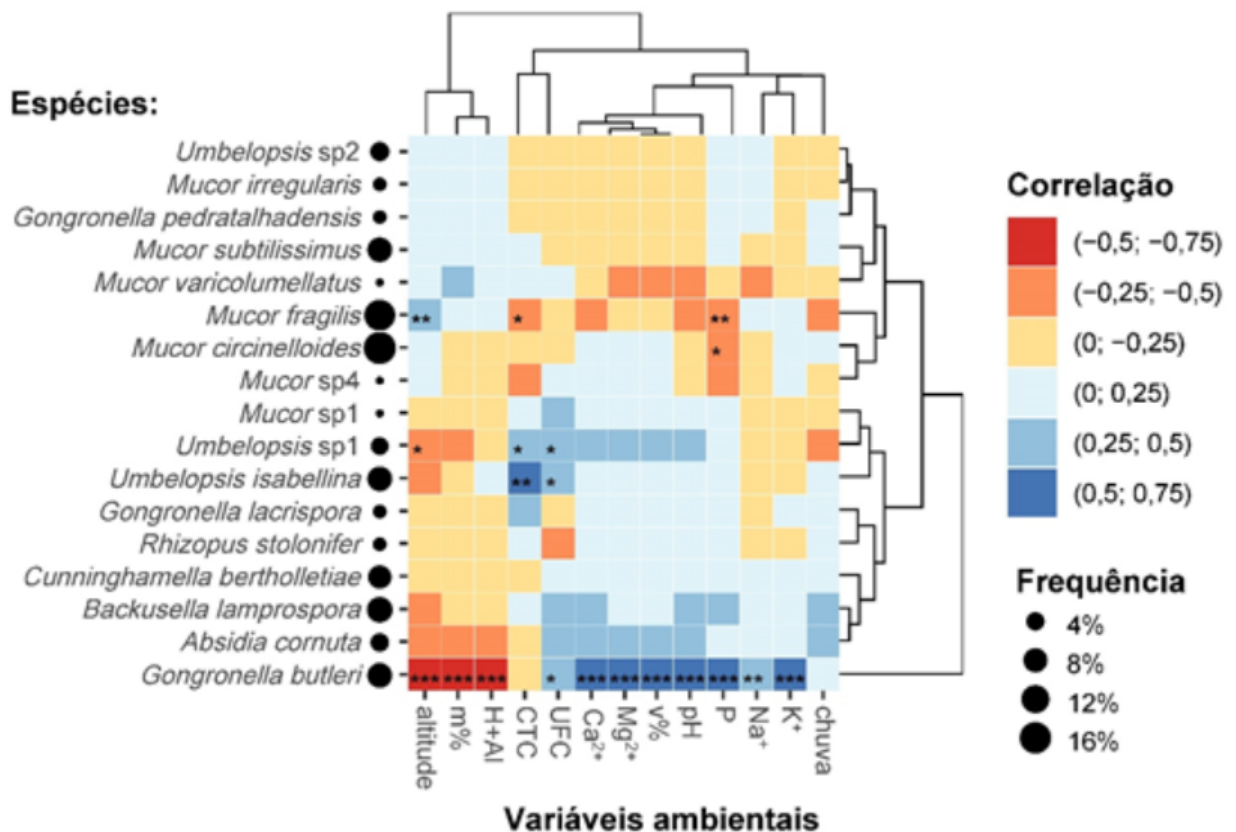
Figura 6 – Estrutura e diversidade das comunidades de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito explicada pelas principais variáveis restritas. (A) Riqueza de espécies de Mucoromycota em função do número de células por grama de solo. (B) Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) usando a distância de Bray-Curtis aplicada à abundância de Mucoromycota. Os dois eixos principais calculados com base na Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) explicaram 24% da variação total. As variáveis precedidas por uma ou mais asteriscos (*) apresentaram uma influência significativa sobre o modelo multivariado de acordo com a análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA, $p < 0.05$). Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T). Capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P); saturação por alumínio (m); sódio (Na^+)



De acordo com a correlação de Spearman (Figura 7), *M. circinelloides* foi a espécie de Mucoromycota mais abundante na RPPN do Benedito, seguida por *M. fragilis*. Ambas as espécies demonstraram correlação negativa com o fósforo disponível, sendo o *M. fragilis* negativamente correlacionado com a CTC do solo (conforme verificado na Figura 6) e positivamente com a altitude. *Gongronella butleri* exibiu abundância relativa de 12%, tendo demonstrado forte correlação negativa com a altitude, com a acidez potencial (H^+Al) e com a saturação de alumínio. Além disso, essa foi a única espécie que demonstrou correlações positivas simultaneamente com pH, P e cátions do solo, resultados que também corroboram os da Figura 6.

Umbelopsis sp. 2, *C. bertholletiae*, *B. lamprospora* e *U. isabelina* exibiram a mesma abundância relativa. Entretanto, essa última espécie exibiu correlação positiva com CTC, assim como *Umbelopsis* sp. 1. *Mucor varicolumellatus* e *M. subtilissimus* ficaram afastadas de *Mucor* sp. 4 e *Mucor* sp. 1, mas próximas de *G. pedratalhadensis*. Algumas espécies do mesmo gênero tenderam a formar um cluster, como observado para o gênero *Mucor* (Figura 7).

Figura 7 – Correlações entre as espécies de Mucoromycota mais frequentes às principais variáveis do solo e à precipitação no solo do brejo de altitude da RPPN do Benedito. A estatística ρ de Spearman foi usada para estimar uma medida de associação monotônica baseada em classificação. Os p-valores foram calculados por aproximação da série de Edgeworth (algoritmos AS 66). As associações significativas em quadrados foram marcadas com um asterisco. Os dendrogramas indicam a proximidade mútua entre espécies e variáveis pela mesma estatística. Legenda: acidez potencial (H+Al); capacidade de troca de cátions (CTC); cálcio (Ca²⁺); magnésio (Mg²⁺); saturação por bases em percentual (V%); sódio (Na⁺); Potássio (K⁺); fósforo (P); saturação por alumínio (m%).

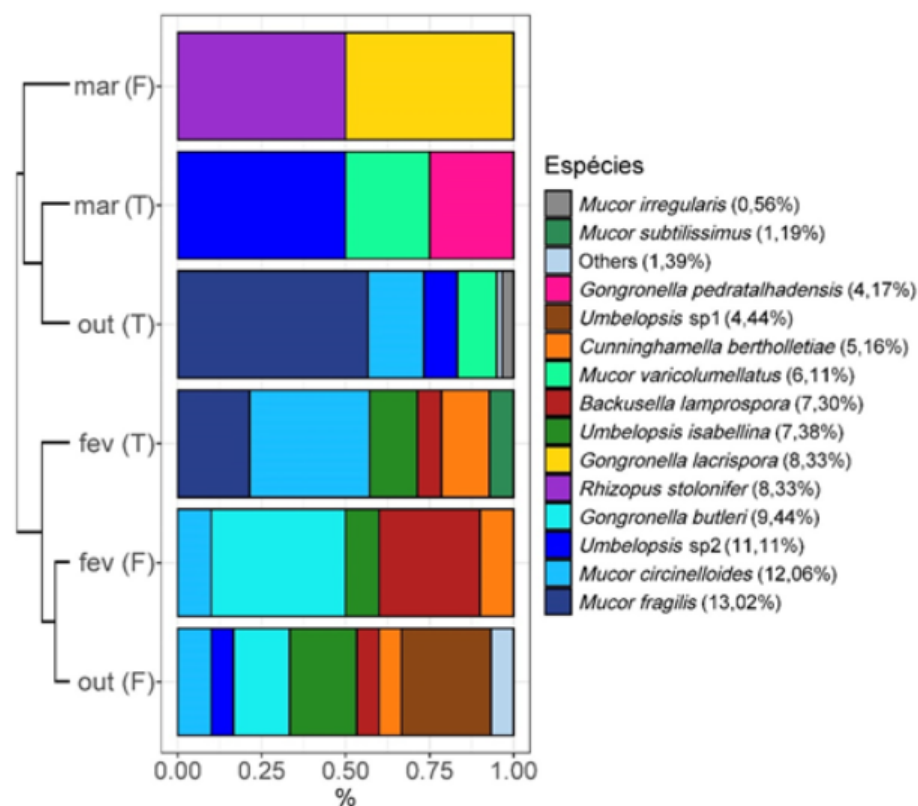


As espécies com maiores percentuais de frequência foram: *M. fragilis* (13,02%), *M. circinelloides* (12,06%), *Umbelopsis* sp. 2 (11,11%), *G. butleri* (9,44%), *R. stolonifer* e *G. lacrispora* (8,33%). As espécies mais frequentes do topo do brejo foram *M. fragilis*, *Umbelopsis* sp. 2, *M. circinelloides* e *M. varicolumellatus*. Entretanto, no fundo, foram mais frequentes: *G. butleri*, *B. lamprospora*, *U. isabelina*, *C. bertholletiae* e *M. circinelloides* (Figura 8).

A Figura 8 ilustra as frequências das espécies nos meses de coleta, no topo e fundo da RPPN do Benedito. No topo, em março, a espécie de Mucoromycota mais frequente foi *Umbelopsis*

sp. 2, seguida por *M. variicolumellatus*, diferindo do observado em outubro e fevereiro, em que *M. fragilis* e *M. circinelloides* foram mais frequentes, respectivamente. Para o fundo do brejo, variações de frequência ao longo dos meses também foram notadas. Enquanto, em outubro, *Umbelopsis* sp. 1 exibiu maior frequência, em março, *R. stolonifer* e *G. lacrispora* foram mais frequentes. Em fevereiro, *G. butleri* e *B. lamprospora* foram as mais frequentes.

Figura 8 – Frequência relativa de espécies de Mucoromycota no topo (T) e fundo (F) do brejo de altitude da RPPN do Benedito nos meses de fevereiro, março e outubro. O eixo horizontal indica a proporção das espécies, variando de 0 a 1 (100%). As espécies foram organizadas em ordem crescente na legenda (de baixo para cima), com destaque para aquelas que representaram mais de 1% da ocorrência total.



A análise de SIMPER indicou elevada dissimilaridade média nas abundâncias de *M. fragilis* (13,33%), *G. butleri* (13,07%), *M. circinelloides* (12,6%), *U. isabellina* (9,09%) e *B. lamprospora* (8,4%), totalizando 56,5% da contribuição acumulada para os solos da RPPN do Benedito (Tabela 2). Nessas condições, *M. fragilis* e *M. circinelloides* contribuíram mais para a abundância dos Mucoromycota no topo do brejo, enquanto *G. butleri*, *U. isabellina* e *B. lamprospora* enriqueceram mais os solos do fundo.

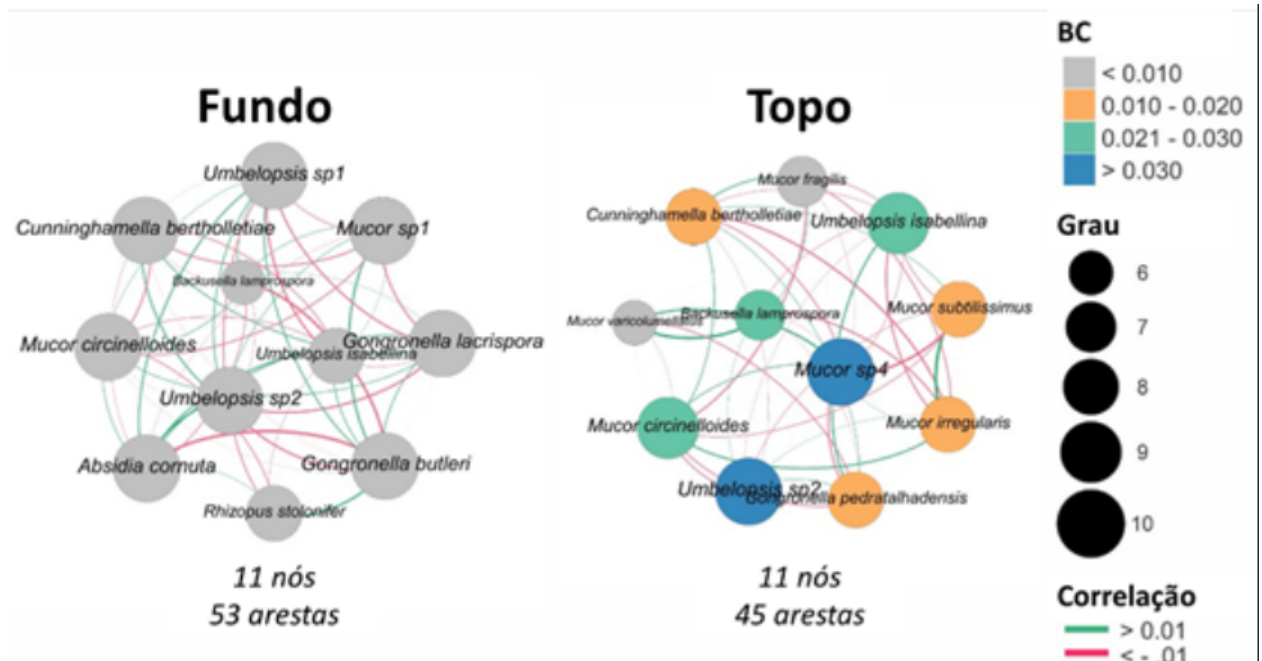
As espécies do fundo e topo do brejo se correlacionam formando uma “rede” de interações (Figura 9), com 11 espécies (nós), mas variando quanto ao número de interações (complexidade), com 53 arestas, no fundo, e 45, no topo. No topo, as potenciais novas espécies, *Mucor*

Tabela 2 – Análise de dissimilaridade de porcentagens (SIMPER) da abundância média de Mucoromycota no fundo e topo brejo de altitude da RPPN do Benedito.

Espécie	DM	Contrib. %	Cumulativa %	Abund. Média	
				Fundo %	Topo%
<i>Mucor fragilis</i>	12,79	13,33	13,33	0,000	0,265
<i>Gongronella butleri</i>	12,55	13,07	26,40	0,216	0,000
<i>Mucor circinelloides</i>	12,07	12,58	38,98	0,081	0,245
<i>Umbelopsis isabellina</i>	8,73	9,09	48,07	0,108	0,061
<i>Backusella lamprospora</i>	8,10	8,44	56,50	0,162	0,041
<i>Umbelopsis sp. 2</i>	6,85	7,14	63,64	0,027	0,123
<i>Cunninghamella bertholletiae</i>	6,44	6,71	70,34	0,081	0,061
<i>Umbelopsis sp. 1</i>	5,74	5,98	76,32	0,081	0,000
<i>Absidia cornuta</i>	4,36	4,55	80,87	0,108	0,000
<i>Gongronella lacrispora</i>	4,11	4,28	85,15	0,054	0,000
<i>Rhizopus stolonifer</i>	4,11	4,28	89,43	0,054	0,000
<i>Mucor varicolumellatus</i>	3,79	3,95	93,38	0,000	0,081
<i>Gongronella pedratalhadensis</i>	1,99	2,07	95,45	0,000	0,041
<i>Mucor sp. 1</i>	1,63	1,70	97,15	0,027	0,000
<i>Mucor subtilissimus</i>	1,39	1,44	98,59	0,000	0,041
<i>Mucor irregularis</i>	0,82	0,85	99,44	0,000	0,020
<i>Mucor sp. 4</i>	0,53	0,56	100,00	0,000	0,020

sp. 4 e *Umbelopsis sp. 2* apresentaram maiores valores de grau (>9) e de centralidade (>0.03). Nesse ecossistema, *M. circinelloides*, *U. isabellina* e *B. lamprospora* apresentaram centralidade variando entre 0.021-0.030. A centralidade e o grau dos nós no fundo dos brejos foram mais equilibrados.

Figura 9 – Análise de co-ocorrência das espécies de Mucoromycota entre as posições fundo (A) e topo (B) em solos do brejo de altitude da RPPN do Benedito. A correlação entre as espécies (nós) foi estimada pelo algoritmo SparCC e os valores p foram estimulados por bootstrapped. Edges (SparCC) com pesos acima de 0,01 foram preservados. O tamanho do nó é proporcional ao número de conexões (grau) e foram pintados em oito intervalos de acordo com a centralidade de intermediação (BC).



5.2 DIVERSIDADE E RIQUEZA DE ESPÉCIES DE MUCOROMYOTA NO SOLO DO BREJO DE ALTITUDE DA SERRA DO COMUNATY

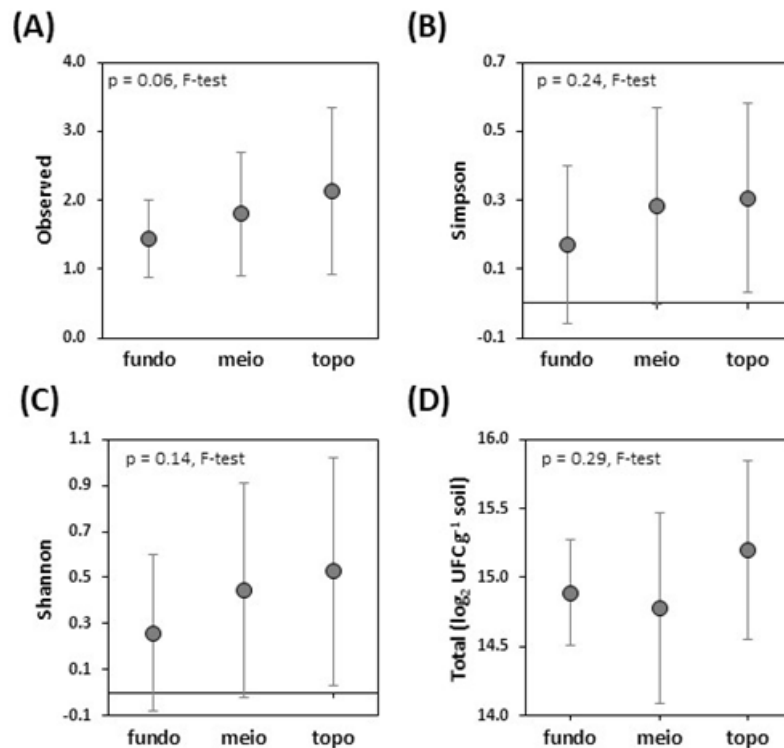
Trinto e oito espécies de Mucoromycota foram isoladas do brejo de altitude da Serra do Comunaty, sendo 36 pertencentes à ordem Mucorales, distribuídas entre *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Syncephalastrum*, e duas da ordem Umbelopsidales (*Umbelopsis*) (Figura 4), com total de 177 espécimes identificados ($5,04 \times 10^4$ UFC.g⁻¹) (Tabela 3, Figura 4). Entre esses, estão uma nova espécie publicada (*A. aguabensis*), três espécies nunca reportadas para o Brasil (*M. pseudocircinelloides*, *M. pseudolusitanicus* e *U. nana*), além de dez prováveis espécies novas, cujas as análises genéticas estão em andamento (*Mucor* sp., sp. 7, sp. 8, sp. 11, sp. 12, sp. 13, sp. 14, sp. 15, *Backusella* sp. 1 e *Umbelopsis* sp. 2).

A Figura 10 mostra que não houve diferenças significativas no número médio de espécies por placa de Petri, nas diversidades (Simpson e Shannon-Wiener) e no número de UFC de Mucoromycota por grama de solo entre o fundo, meio e topo do brejo da Serra do Comunaty. No entanto, a riqueza de espécies (23) no topo foi superior ao meio (15) e fundo (13).

Tabela 3 – Unidades formadoras de colônias por grama de solo (UFC.g⁻¹) dos Mucoromycota ao longo do perfil de elevação do terreno no brejo da Serra do Comunaty.

Mucoromycota	Fundo	Meio	Topo	Total
<i>A. aguabelensis</i> J.D. Leitão, T.R.L. Cordeiro, H.B. Lee & A.L. Santiago	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>A. caatingaensis</i> D.X. Lima & A.L. Santiago	0	0	$6,66 \times 10^2$	$6,66 \times 10^2$
<i>A. cornuta</i>	6×10^2	$5,32 \times 10^3$	$1,66 \times 10^3$	$7,59 \times 10^3$
<i>A. repens</i> Tiegh.	0	0	$9,99 \times 10^2$	$9,99 \times 10^2$
<i>Backusella</i> sp. 1	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Cunninghamella bertholletiae</i>	0	$6,99 \times 10^3$	$4,99 \times 10^3$	$1,20 \times 10^4$
<i>C. echinulatavar. antarctica</i> (Caretta & Piont.) R.Y. Zheng & G.Q. Chen	1×10^3	$1,99 \times 10^3$	$6,66 \times 10^2$	$3,66 \times 10^3$
<i>G. butleri</i>	0	$6,66 \times 10^2$	0	$6,66 \times 10^2$
<i>Gongronella brasiliensis</i>	0	$6,66 \times 10^2$	$6,66 \times 10^2$	$1,33 \times 10^3$
<i>G. lacrispora</i>	0	$1,33 \times 10^3$	0	$1,33 \times 10^3$
<i>G. pedratalhadensis</i>	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp.	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 7	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Mucor</i> sp. 8	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>Mucor</i> sp. 11	0	$3,33 \times 10^2$	0	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 12	0	0	$9,99 \times 10^2$	$9,99 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 13	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 14	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 15	0	0	$9,99 \times 10^2$	$9,99 \times 10^2$
<i>Mucor</i> sp. 16	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>M. circinelloides</i>	$3,6 \times 10^3$	$9,99 \times 10^2$	$1,33 \times 10^3$	$5,93 \times 10^3$
<i>M. fragilis</i>	0	0	$6,66 \times 10^2$	$6,66 \times 10^2$
<i>M. griseocyanus</i> Hagem	0	0	$3,33 \times 10^2$	$3,33 \times 10^2$
<i>M. irregularis</i>	0	0	$1,665 \times 10^3$	$1,67 \times 10^3$
<i>M. lusitanicus</i> Bruderl.	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>M. plumbeus</i> Bonord.	0	0	$6,66 \times 10^2$	$6,66 \times 10^2$
<i>M. pseudocircinelloides</i> Wagner & G. Walther	0	$3,33 \times 10^2$	0	$3,33 \times 10^2$
<i>M. pseudolusitanicus</i> L. Wagner & G. Walther	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>M. ramossissimus</i>	2×10^2	0	0	2×10^2
<i>M. souzae</i> C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago	4×10^2	0	$3,33 \times 10^2$	$7,33 \times 10^2$
<i>M. varicolumellatus</i>	2×10^2	$3,33 \times 10^2$	0	$5,33 \times 10^2$
<i>R. arrhizus</i> var. <i>arrhizus</i> A.	1×10^3	0	$6,66 \times 10^2$	$1,67 \times 10^3$
<i>R. arrhizus</i> var. <i>tonkinensis</i> (Vuill.) R.Y. Zheng & X.Y. Liu	4×10^2	0	0	4×10^2

Figura 10 – Médias e desvios padrão das métricas de diversidade alfa de espécies de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty. (A) Número de espécies, (B) índice de diversidade de Simpson, (C) índice de diversidade de Shannon Wiener, (D) número total de UFC por grama de solo. De acordo com o teste F, não foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os gradientes de altitude.



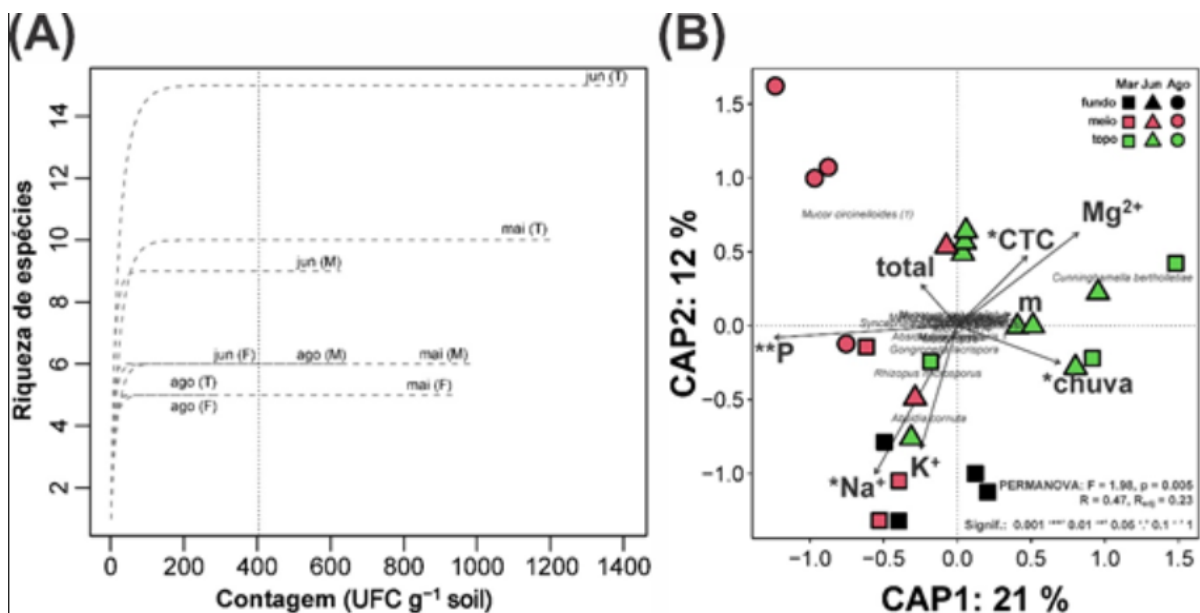
Com base nos dados rarefeitos da riqueza de espécies, maior riqueza e número de Unidades Formadoras de Colônias por grama de solo foram observados nos meses de junho, seguido por maio, no topo. Para o meio do brejo, a maior riqueza foi observada em junho, seguido do mesmo valor para agosto e maio, enquanto o número de UFC.g⁻¹de solo foi mais elevado para o mês de maio, seguido por agosto e junho. Para o fundo, a maior riqueza foi verificada, em ordem decrescente, nos meses de junho, maio e agosto, mas o número de UFC.g⁻¹de solo foi mais elevado em maio, seguido por junho e agosto (Figura 11A).

As comunidades de Mucoromycota foram influenciadas principalmente por CTC, magnésio, fósforo, saturação por alumínio (m%), concentrações de Na⁺, potássio (K⁺) e pela precipitação pluviométrica (Figura 11B). As comunidades do topo do brejo exibiram relação positiva com a precipitação pluviométrica, sendo o oposto verificado para as coletas do meio. Os resultados não permitem observar a influência da precipitação pluviométrica sobre as comunidades do fundo, pois a maioria das amostras do fundo não apresentaram número mínimo de espécies classificadas para utilização na análise multivariada. Apenas três amostras coletadas do fundo

durante o mês de março passaram pela rarefação, apresentando uma aproximação com variáveis Na^+ K^+ .

As comunidades do topo parecem sofrer influência positiva do CTC, Mg^{2+} , Na^+ e P, enquanto as comunidades do meio foram positivamente influenciadas por P, Na^+ K^+ e negativamente pela precipitação pluviométrica. No fundo, verificou-se influência positiva apenas do Na^+ K^+ . Com relação às espécies, *C. bertholletiae* foi a única espécie com associação positiva com a precipitação pluviométrica, CTC e magnésio (Mg^{2+}), observando-se o oposto para *M. circinelloides*. *Absidia cornuta* exibiu interação negativa com a precipitação pluviométrica, mas positiva com Na^+ K^+ , ocorrendo o mesmo com *R. microsporus* e *G. lascrispora*, mas em menor escala para essas últimas espécies. As outras espécies estão situadas no centro do gráfico e parecem ser igualmente, mas pouco influenciadas por todas as variáveis analisadas.

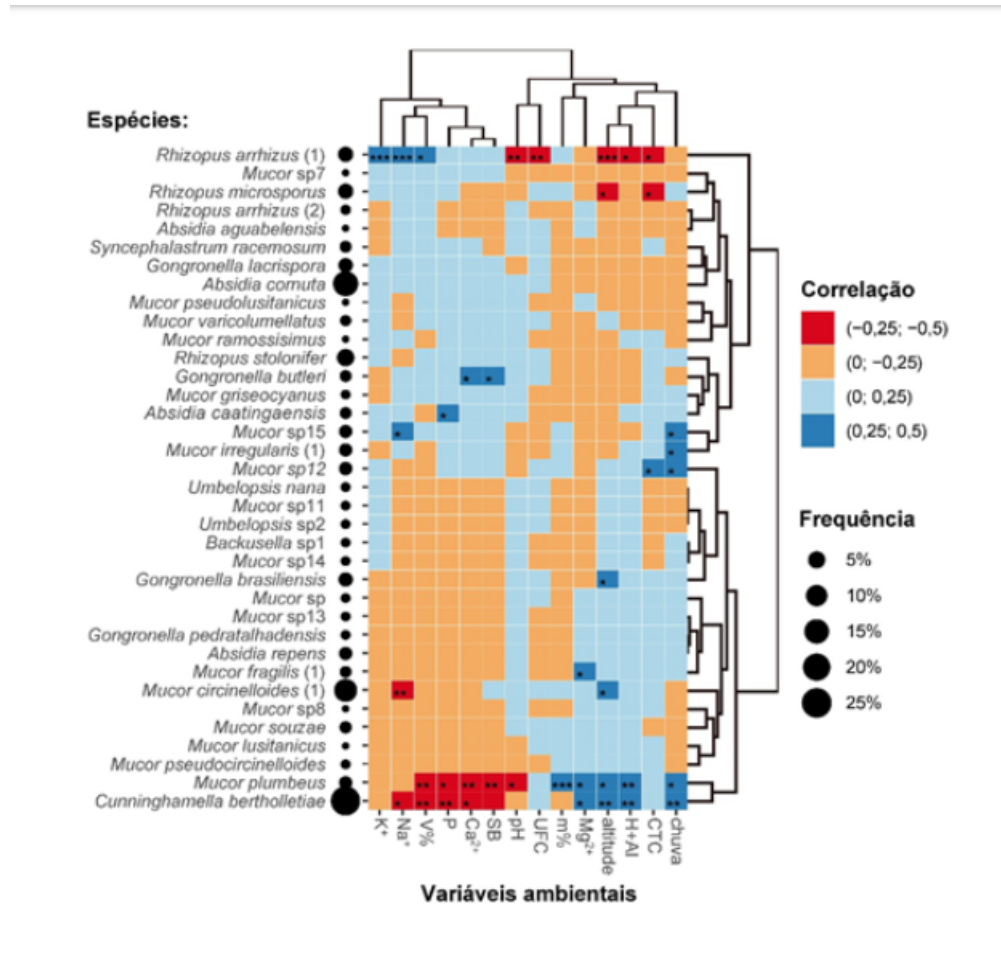
Figura 11 – Estrutura e diversidade das comunidades de Mucoromycota em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty explicada pelas principais variáveis restritas (24%). (A) Diversidade de espécies em função do número de células por grama de solo. (B) Análise de redundância baseada em distância (dbRDA) usando a distância de Bray Curtis aplicada à abundância de Variantes de Sequência de Amplicon (ASVs) do gene 16S rRNA. Manchas coloridas indicam as pontuações das áreas de amostra para os primeiros dois eixos da Análise restrita de coordenadas principais (CAP). A similaridade entre as amostras foi explicada em função do solo não redundante e da precipitação média (vetores), onde as variáveis significativas foram precedidas por um ou mais asteriscos (*). Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T). Capacidade de troca de cátions (CTC), magnésio (Mg^{2+}); saturação por alumínio (m); fósforo (P); sódio (Na^+); e potássio (K^+).



As espécies mais frequentes, isoladas na Serra do Comunaty, de acordo com a correlação de Spearman (Figura 12), foram *C. bertholletiae* (25%), *A. cornuta* (20%) e *M. circinelloides* (15%), sendo a primeira e a última as únicas a apresentarem correlação negativa com o Na^+ . Além disto, *C. bertholletiae* também exibiu correlação negativa para saturação por bases em

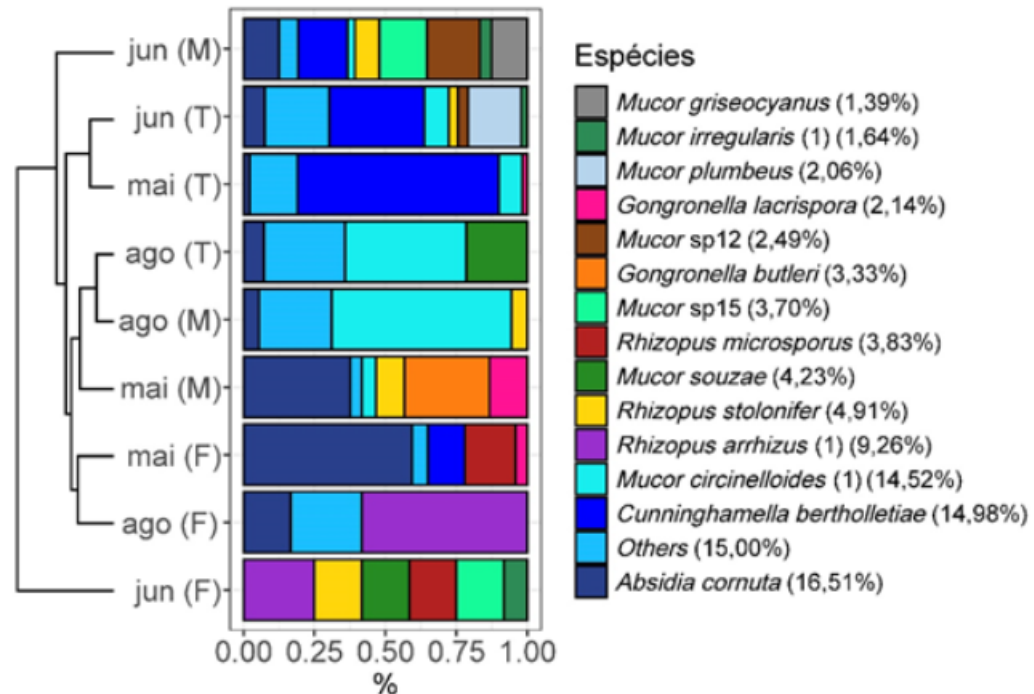
percentual (V%), P, cálcio (Ca^{2+}), enxofre (S) e positiva para Mg^{2+} , altitude, H+AL e precipitação. *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus* foi positivamente associada ao K^+ , Na^+ e V%, e negativamente correlacionada ao pH, UFC, altitude, H+AL e CTC. *Rhizopus microsporus* também foi associada negativamente à altitude, mostrando ser negativamente influenciada pela CTC. *Mucor plumbeus* apresentou frequência de 5% e correlação com a maioria das variáveis ambientais, mostrando uma associação negativa para V%, P, Ca^{2+} , S, pH e positiva para m%, Mg^{2+} , H+AL e chuva. *Gongronella brasiliensis* e *G. butleri* exibiram, respectivamente, associação positiva com a altitude, Ca^{2+} e S. Quanto às espécies de *Mucor*, que mostraram correlações associativas significativas, citam-se: *M. circinelloides*, com correlação negativa com Na^+ e positiva com a altitude, *M. irregularis* e *Mucor* sp. 15, ambos sendo influenciados positivamente pela chuva (e, ainda, essa última também associada com Na^+), *Mucor* sp.12, associado positivamente com a precipitação pluviométrica e com o CTC e, por fim, *M. fragilis*, com Mg^{2+} . Vale ressaltar que, apesar de exibirem frequências consideráveis, as espécies de *Gongronella* ficaram afastadas entre si, mas próximas às de outros gêneros, como *Mucor* e *Absidia*. Espécies de *Rhizopus* apresentaram tendências semelhantes com *A. aguabelensis* e *S. racemosum*. Também é possível observar que, assim como visto para os isolados da RPPN do Benedito, algumas espécies do gênero *Mucor* tendem a se agrupar (Figura 12).

Figura 12 – Correlações de Spearman (ρ) entre as espécies de Mucoromycota mais frequentes, as principais variáveis do solo e a precipitação no solo do brejo da Serra do Comunaty. As associações significativas em retângulos foram marcadas com um ou mais asteriscos. Os dendrogramas indicam a proximidade mútua entre espécies e variáveis pela mesma estatística. Intervalo de significância do p-valor: 0 *** 0.01 ** 0.05 *. *. Legenda: potássio (K^+); sódio (Na^+); saturação por bases em percentual (V%); fósforo (P); cálcio (Ca^{2+}); enxofre (S); saturação por alumínio (m%); magnésio (Mg^{2+}); acidez potencial (H+Al); capacidade de troca de cátions (CTC).



As espécies de Mucoromycota com maior frequência relativa, na Serra do Comunaty, foram: *A. cornuta* (16,51%), *C. bertholletiae* (14,98%), *M. circinelloides* (14,52%) e *R. arrhizus* var. *arrhizus* (9,26%). Com relação aos gradientes de altitude, podem ser destacadas: *A. cornuta* e *R. arrhizus* var. *arrhizus*, no fundo do brejo; *A. cornuta* e *M. circinelloides*, no meio; *C. bertholletiae* e *M. circinelloides*, no topo (Figura 13). Também foram verificadas variações das frequências relativas aos meses de coleta. No fundo, em maio, *A. cornuta* foi mais abundante, mas, em agosto e junho, *R. arrhizus* var. *arrhizus* exibiu maior frequência relativa. Para o meio, *A. cornuta* foi mais abundante, em maio, enquanto *M. circinelloides* foi mais frequente, em agosto. No topo, *M. circinelloides* foi mais frequente em agosto, mas, em maio e junho, *C. bertholletiae* foi mais frequente (Figura 13).

Figura 13 – Frequência relativa de espécies de Mucoromycota no fundo, meio e topo, no brejo de altitude da Serra do Comunaty. As espécies foram organizadas em ordem crescente na legenda, com destaque para aquelas que representaram mais de 1% da ocorrência total. Árvore de similaridade. Legenda: fundo (F); meio (M); topo (T).



A análise de SIMPER indicou alta dissimilaridade média nas abundâncias de *C. bertholletiae* (19,74%), *A. cornuta* (13,75%) e *M. circinelloides* (13,32%), totalizando 46,82% de contribuição cumulativa para os solos de brejo da região de Águas Belas (Tabela 4). *Cunninghamella bertholletiae* contribuiu mais para a abundância dos Mucoromycota no topo do brejo, enquanto *A. cornuta*, *M. circinelloides*, *R. stolonifer* e *Mucor sp. 15* foram mais significativas para a abundância no meio. *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus* e *R. microsporus* contribuíram mais para a abundância dos Mucoromycota no fundo.

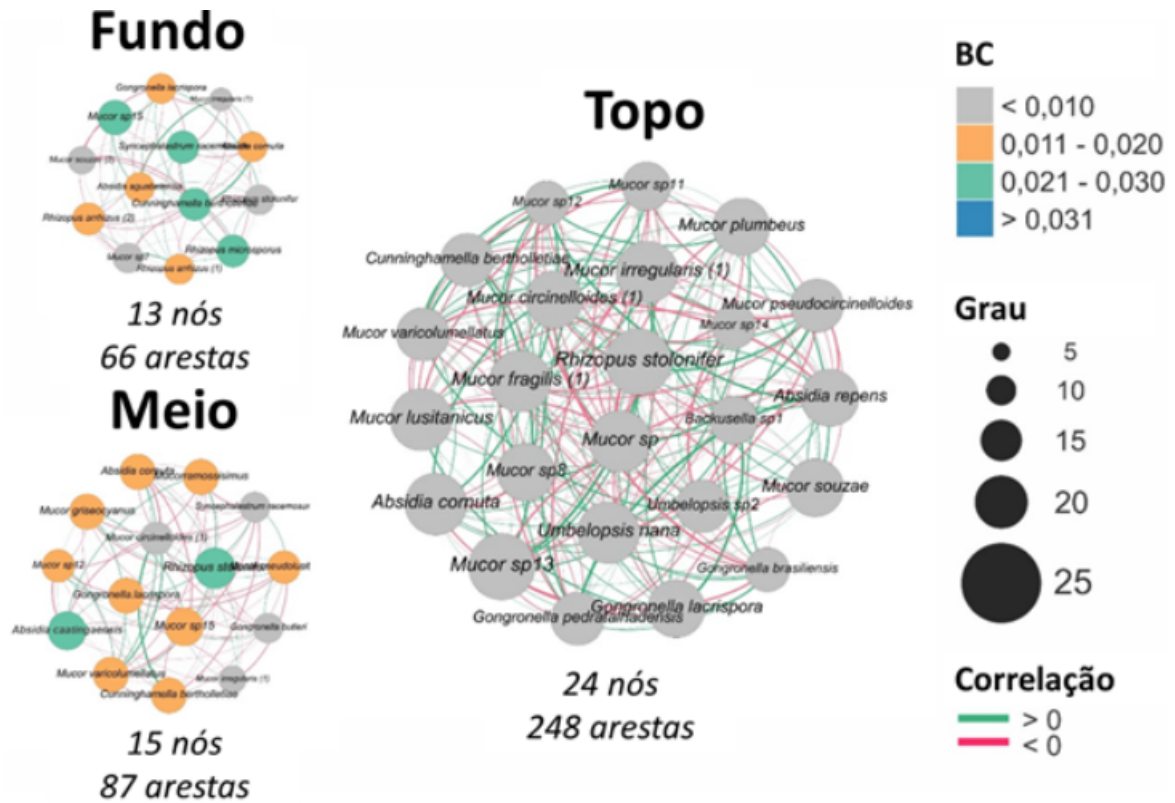
Os gradientes de altitude, denominados fundo, meio e topo, apresentaram espécies que se correlacionam formando uma “rede” de interações (Figura 14), constituídos, respectivamente por 13, 15 e 24 espécies (nós), variando também quanto ao número de interações (complexidade), sendo 66 no fundo, 887 no meio e 248 no topo. Esse último exibiu maior complexidade do que os outros gradientes, como também maior quantidade de nós. No topo, nenhuma espécie parece exercer influência sobre as outras da comunidade de Mucoromycota. No fundo, *Mucor sp. 15*, *S. racemosum*, *C. bertholletiae* e *R. microsporus* exibem influência sobre as demais, com papéis chave na estabilidade dessa rede. Com importância secundária, estão *G. lacrispora*, *A. cornuta*, *A. aguabelensis*, *R. arrhizus* var. *arrhizus* e *R. arrhizus* var. *tokinensis*. No meio, *R. stolonifer* e *A. caatingaensis* exibem influência sobre as demais espécies, com

Tabela 4 – Análise de similaridade de porcentagens (SIMPER) da abundância média de Mucoromycota no fundo, meio e topo do brejo de Gravatá. Legenda: DM – dissimilaridade média; Contrib. % – contribuição da espécie na dissimilaridade; Culmul. % – contribuição cumulativa.

Espécie	DM	Contrib. %	Cumul. %	Abundância Média (%)		
				fundo	meio	topo
<i>Cunninghamella bertholletiae</i>	18,43	19,74	19,74	0,113	0,067	0,397
<i>Absidia cornuta</i>	12,84	13,75	33,50	0,264	0,213	0,076
<i>Mucor circinelloides</i>	12,44	13,32	46,82	0,000	0,240	0,107
<i>Rhizopus arrhizus</i> var. <i>arrhizus</i>	5,68	6,08	52,90	0,170	0,000	0,000
<i>Rhizopus stolonifer</i>	4,64	4,97	57,87	0,038	0,107	0,023
<i>Mucor</i> sp. 15	3,26	3,50	61,37	0,038	0,053	0,000
<i>Rhizopus microsporus</i>	3,26	3,49	64,86	0,151	0,000	0,000
<i>Mucor</i> sp. 12	2,94	3,15	68,01	0,000	0,053	0,015
<i>Mucor souzae</i>	2,65	2,84	70,85	0,038	0,000	0,015
<i>Mucor plumbeus</i>	2,61	2,80	73,65	0,000	0,000	0,046
<i>Gongronella butleri</i>	2,34	2,51	76,16	0,000	0,053	0,000
<i>Gongronella lacrispora</i>	2,16	2,31	78,47	0,038	0,040	0,015
<i>Mucor irregularis</i>	1,99	2,13	80,60	0,038	0,027	0,015
<i>Mucor griseocyanus</i>	1,40	1,50	82,10	0,000	0,027	0,000
<i>Gongronella brasiliensis</i>	1,32	1,42	83,51	0,000	0,000	0,053
<i>Syncephalastrum racemosum</i>	1,29	1,38	84,89	0,038	0,027	0,000
<i>Absidia brasiliensis</i>	1,26	1,35	86,25	0,000	0,053	0,000
<i>Rhizopus arrhizus</i> var. <i>tonkinensis</i>	1,26	1,35	87,60	0,038	0,000	0,000
<i>Mucor ramossissimus</i>	0,94	1,00	88,60	0,000	0,013	0,000
<i>Absidia repens</i>	0,93	0,99	89,60	0,000	0,000	0,038
<i>Mucor pseudocircinelloides</i>	0,87	0,94	90,53	0,000	0,000	0,015
<i>Mucor lusitanicus</i>	0,84	0,91	91,44	0,000	0,000	0,008
<i>Mucor</i> sp. 8	0,84	0,91	92,34	0,000	0,000	0,008
<i>Mucor fragilis</i>	0,83	0,89	93,23	0,000	0,000	0,031
<i>Absidia aguabelensis</i>	0,82	0,88	94,11	0,019	0,000	0,000
<i>Mucor varicolumellatus</i>	0,77	0,83	94,94	0,000	0,013	0,015
<i>Mucor</i> sp. 7	0,63	0,68	95,61	0,019	0,000	0,000
<i>Mucor</i> sp. 14	0,60	0,64	96,25	0,000	0,000	0,015
<i>Mucor</i> sp.	0,60	0,64	96,89	0,000	0,000	0,015
<i>Mucor pseudolusitanicus</i>	0,56	0,60	97,50	0,000	0,013	0,000
<i>Mucor</i> sp. 13	0,46	0,49	97,99	0,000	0,000	0,015
<i>Backusella</i> sp. 1	0,40	0,42	98,41	0,000	0,000	0,015
<i>Mucor</i> sp. 11	0,37	0,40	98,81	0,000	0,000	0,015
<i>Gongronella pedratalhadensis</i>	0,37	0,40	99,21	0,000	0,000	0,015
<i>Umbelopsis nana</i>	0,37	0,40	99,60	0,000	0,000	0,015
<i>Umbelopsis</i> sp. 2	0,37	0,40	100,00	0,000	0,000	0,015

outras 9 espécies mostrando importância secundária para estabilidade da rede.

Figura 14 – Análise de co-ocorrência das espécies de Mucoromycota entre as posições inferior e superior em solos do brejo de altitude da Serra do Comunaty. A correlação entre as espécies (nós) foi estimada pelo algoritmo SparCC e os valores p foram estimulados por bootstrapped. Edges (SparCC) com pesos acima de 0,01 foram preservados. O tamanho do nó é proporcional ao número de conexões (grau) e foram pintados em oito intervalos de acordo com a centralidade de intermediação (BC).



5.3 DEPÓSITO DOS ESPÉCIMES ISOLADOS À COLEÇÃO DE CULTURAS MICOTECA-URM DO DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Culturas das espécies depositadas seguem dispostas nos Quadros 1 e 2 abaixo, enquanto as demais culturas ainda estão em processo de depósito.

Quadro 1 – Amostras depositadas na Micoteca URM da Universidade Federal de Pernambuco.

Espécie	Código Micoteca URM	Método/meio de preservação
<i>Absidia aguabelensis</i>	8213	Óleo mineral/ BDA
<i>Backusella lamprospora</i>	8262	Óleo mineral/ BDA
<i>Cunninghamella echinulata var antarctica</i>	8264	Óleo mineral/ BDA
<i>Gongronella butleri</i>	8214	Óleo mineral/ BDA
<i>Gongronella lacrispora</i>	8266	Óleo mineral/ BDA
<i>Mucor souzae</i>	8265	Óleo mineral/ BDA
<i>Rhizopus arrhizus var arrhizus</i>	8263	Óleo mineral/ BDA
<i>Rhizopus arrhizus var tonkinensis</i>	8261	Óleo mineral/ BDA
<i>Rhizopus stolonifer</i>	8214	Óleo mineral/ BDA

Quadro 2 – Amostra depositada no Herbário URM da Universidade Federal de Pernambuco.

Espécie	Código Herbário URM	Método/meio de preservação
<i>Absidia aguabelensis</i>	94472	Lâmina/azul de AMANN

5.4 TAXONOMIA

Absidia aguabelensis J.D. Leitão, T.R.L. Cordeiro, H.B. Lee & A.L. Santiago, Phytotaxa 516 (1): 86 (2021) (Figura 15).

Etimologia: *aguabelensis*. Referência à cidade (Águas Belas) de onde a espécie foi isolada pela primeira vez.

Colônias inicialmente brancas, tornando-se cinzas-amarronzadas, colonizando toda a placa de Petri, após 5 dias de incubação, a 25 °C, em AEM; reverso laranja claro. Rizoides curtos ou longos, ramificados ou não. Estolões castanhos-claros com septos irregularmente espaçados, 5–7,5 μm em diâm. Esporangióforos hialinos ou cinzas claros, eretos, longos ou curtos, decorrentes de estolões, isolados ou formando cachos de até 8 esporangióforos, simples ou raramente ramificados (com ramificações sucessivas de até 3 vezes), até 440 μm de comprimento e 2,5–7,5 μm de largura; parede lisa ou ligeiramente incrustada. Um septo abaixo do esporângio é sempre observado. Esporângios marrons, apofisados, subglobosos, piriformes, com parede lisa e deliquescente, 13–26,5×9,5–30 μm de diâm. Columelas hialinas à marrons-claras, em forma de figo, 5–15,5×5–17 μm e hemisféricas, 2,5–15,5×7–17 μm , parede lisa. Apófises marrons-claras, trapezóides ou em forma de sino, com até 17 μm de largura, na porção maior. Projeções cônicas, até 4,5 μm de comprimento, ou em forma de agulha, com ou sem a extremidade bulbosa, com até 7,2 μm de comprimento, algumas tão pequenas que

parecem inconspícuas. Raramente, duas projeções podem ser observadas em uma mesma columela. Colarinho evidente. Esporangiósporos hialinos, globosos, $2,5\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ diâm., subglobosos, $4,5\text{--}6\times 3,6\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$, e cilíndricos, $3,5\text{--}9,5\times 2\text{--}6\text{ }\mu\text{m}$. Clamidosporos frequentes. Zigosporos não observados.

Espécime examinado: BRASIL, Pernambuco, Águas Belas, Serra do Comunaty ($09^{\circ}06.061'S$ $37^{\circ}03.148'W$), solo, 300m alt., 2018, J.D.A. Leitão (holótipo URM 94472, isótipo URM 8213).

Características da cultura: Em AEM, a 10°C – ausência de crescimento; a 15°C – crescimento lento (4,7 cm diâm, após 168 h); a 20°C – bom crescimento (9 cm diâm., após 144 h); a 25 e 30°C – ótimo crescimento (9 cm diâm, após 120 h); a 35°C – crescimento lento (9 cm de diâm., após 264 h); colônias mais escuras do que nas outras temperaturas; a 40°C – ausência de crescimento. *Absidia aguabelensis* exibe semelhantes crescimento e esporulação em AEM e BDA em todas as temperaturas examinadas.

Figura 15 – *Absidia aguabelensis* sp. nov. (URM 8213). A. Superfície da colônia em ágar extrato de malte a 25°C . B. Esporangióforo jovem com esporângio. C. Esporangióforos maduros com esporângio, columela e apófise em forma de sino. D, E. Esporangióforo ramificado; F, G, H, I. Esporangióforo com columela; J. Esporangiosporos. Barras: B, C, J = $25\text{ }\mu\text{m}$; D, E = $50\text{ }\mu\text{m}$; F, G, H, I = $12,5\text{ }\mu\text{m}$.

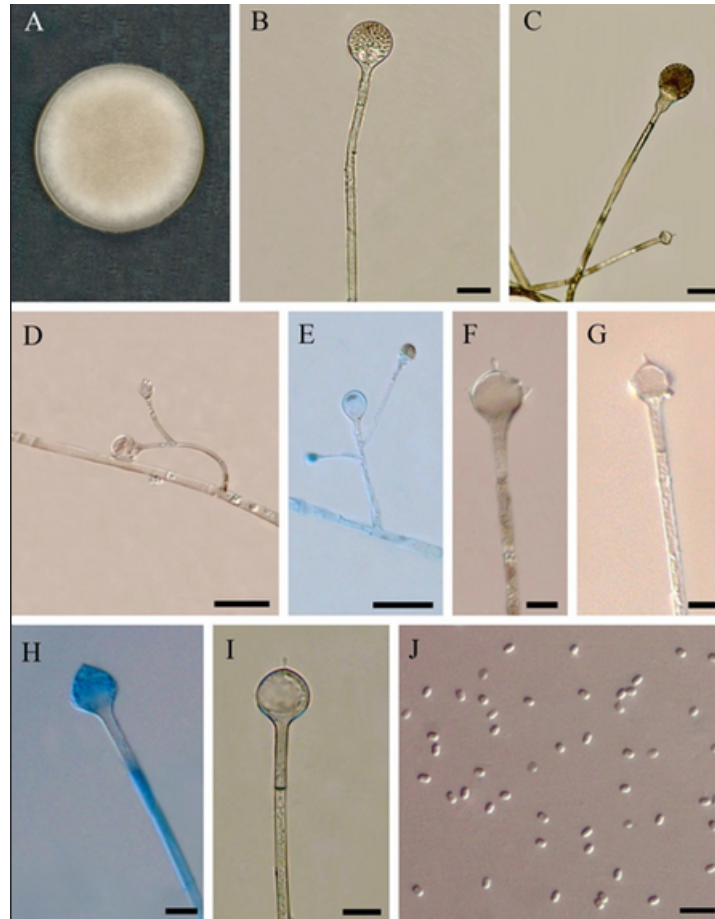
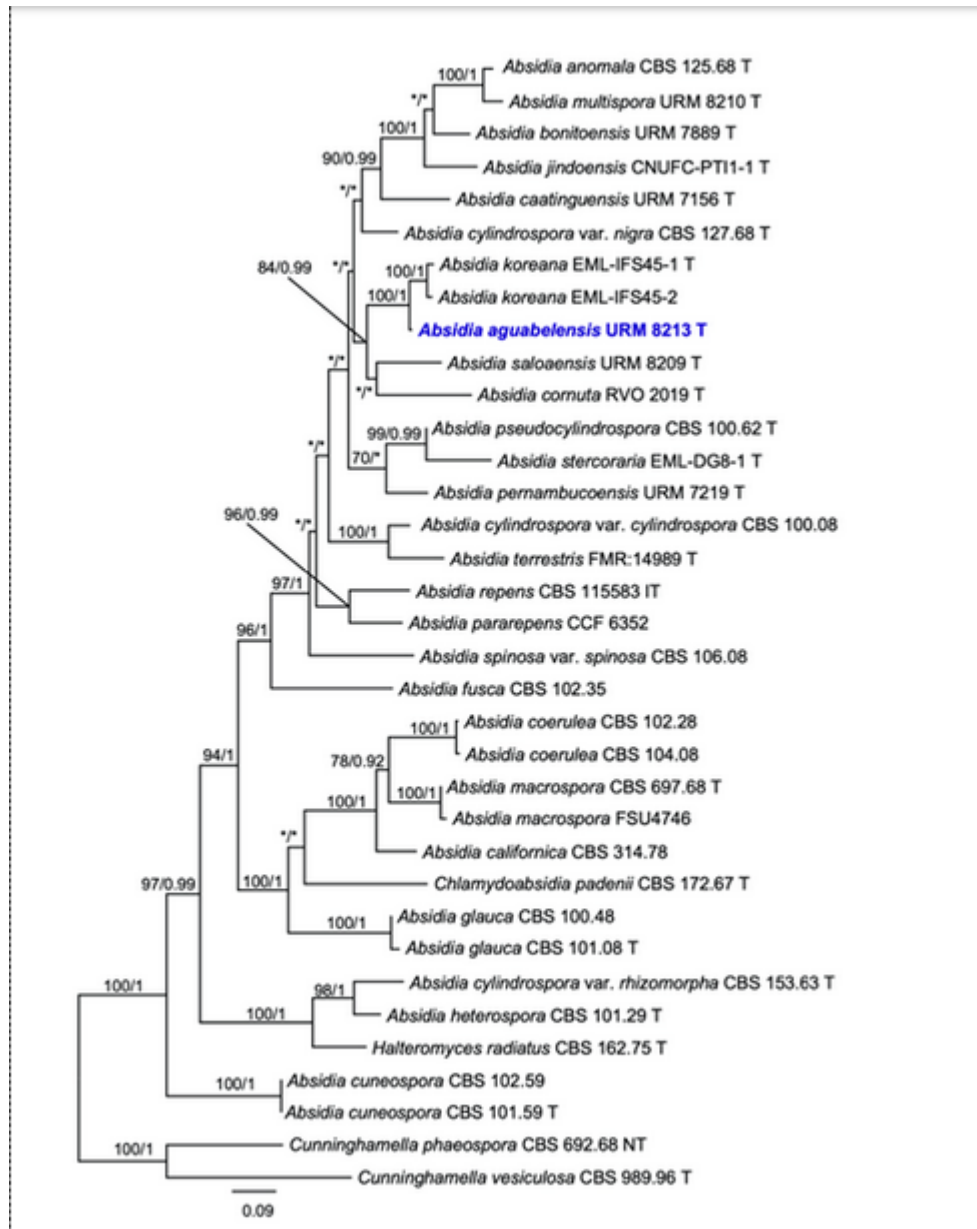


Figura 16 – Árvore filogenética de *Absidia aguabelensis* URM 8213 e espécies relacionadas com base na análise de máxima verossimilhança (ML) das regiões ITS e LSU do rDNA. Os valores de bootstrap para probabilidades Bayesianas posteriores acima de 0,9 e ML maior ou igual a 70% foram inseridos acima dos nós. Valores de bootstrap menores que 0,9 e ML menores que 70% estão marcados com "*". A barra indica o número de substituições por posição. A sequência proposta neste estudo está em azul. *Cunninghamella phaeospora* CBS 692.68 e *Cunninghamella vesiculosa* CBS 989.96 foram usadas como grupos externos.



6 DISCUSSÃO

Hawksworth e Lücking (2017) estimaram que haja entre 2,2 e 3,8 milhões de espécies de fungos no planeta, dentre as quais pouco mais de 135.000 são conhecidas¹. Esses autores destacaram que é esperada uma elevada micodiversidade em regiões tropicais, incluindo novas espécies de fungos.

Com relação ao filo Mucoromycota, pouco se conhece sobre a diversidade e distribuição desses fungos, e, embora estudos sobre a taxonomia e classificação de Mucoromycota tenham sido conduzidos (incluindo a descrição de novos gêneros e espécies), os inventários de espécies deste filo em diferentes domínios e substratos em todo o mundo não são apenas limitados, mas também temporal e espacialmente distribuídos (VOIGT; WÖSTEMEYER, 2001). Essa carência de estudos taxonômicos e biogeográficos dos Mucoromycota faz que haja lacunas no conhecimento da ecologia e distribuição de muitas das suas espécies. Portanto, a ideia de que a maioria das espécies conhecidas pertencentes ao filo Mucoromycota são cosmopolitas (CANNON; KIRK, 2007; VOIGT, 2012; WIJAYAWARDENE et al., 2018) não pode ser confirmada.

Nesse estudo pioneiro, nos brejos de altitude da Serra do Comunaty e da RPPN do Benedito, foram isoladas 44 espécies e 3 variedades de Mucoromycota (incluindo uma espécie nova publicada, outras potenciais novas espécies e primeiras ocorrências para o Brasil) e, se comparados esses números com os de outros trabalhos realizados em outros brejos pernambucanos (ALVES et al., 2016; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; ALVES et al., 2021a), pode-se afirmar que a riqueza observada desses fungos, considerando os dois brejos aqui estudados em conjunto, foi elevada.

Além disso, esse estudo também é pioneiro no que se refere à influência da altitude e de variáveis do solo na estruturação das comunidades dos Mucoromycota em áreas de brejo e, mesmo em uma escala global, há apenas um estudo ecológico realizado em alguns ecossistemas de Mata Atlântica, em Pernambuco (LIMA et al., 2020), mas a abordagem ecológica foi em parte diferente da utilizada nesta dissertação. Dessa forma, não existem dados na literatura que sirvam para comparações com alguns resultados obtidos nesse trabalho e, possivelmente, alguns desses resultados serão melhor compreendidos quando outros estudos semelhantes foram realizados, tanto em áreas de brejo de altitude, como em outros ecossistemas tropicais.

¹ Catálogo da Vida: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019>; www.indexfungorum.org

6.1 RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL DO BENEDITO

A riqueza de Mucoromycota (18 espécies) obtida nesse brejo se aproxima da reportada por ALVES et al. (2016), que isolou 25 táxons de Mucorales dos brejos da Serra dos Cavalos, Serra do Jenipapo e Serra Negra, localizados em Pernambuco. Obviamente, quando comparadas com as 29 espécies de Mucorales, isoladas de solos dos brejos pernambucanos de Serra do Jardim, Serra do Vento e Serra do Benedito, por (ALVES et al., 2021a), e com as 39 espécies isoladas na Serra de Bonito e Sítio Palmeira, por (LIMA et al., 2018b), ou mesmo com as 70 espécies reportadas por de (SOUZA, 2019), na Serra do Bituri, Taquaritinga do Norte e Sítio Carro Quebrado, a riqueza observada nesse estudo poderia ser considerada baixa. No entanto, deve-se considerar que apenas os isolados da RPPN estão sendo considerados nesse tópico, enquanto os trabalhos supracitados envolveram coletas em dois ou três brejos de altitude. Além disso, diferenças na riqueza de espécies podem estar relacionadas com o período de coleta (época seca ou chuvosa), metodologia utilizada, além de diferentes fatores bióticos e abióticos de cada área (ALVES et al., 2021a).

Corroborando os dados aqui obtidos, outros trabalhos, também realizados em brejos de altitude de Pernambuco, reportaram *C. bertholletiae*, *G. butleri*, *R. stolonifer*, *M. circinelloides* (LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; ALVES et al., 2016; ALVES et al., 2021a), *A. cornuta*, *M. fragilis* (SOUZA, 2019; ALVES et al., 2021a), *M. irregulares*, *B. lamprospora* (LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; ALVES et al., 2021a), *M. subtilissimus* (ALVES et al., 2016) e *M. variicolumellatus* (SOUZA et al., 2020). FREITAS et al. (2020), igualmente, isolou, de solo de Mata Atlântica, nos estados de Alagoas e Bahia, *G. lacrispora*, *G. pedratalhadensis* e *U. Isabelina*.

Foi observado que a estrutura das comunidades de Mucoromycota variou com a elevação do terreno na RPPN do Benedito e com os meses do ano. O número médio de espécies isoladas por placa e as diversidades de Simpson e de Shannon foram significativamente maiores no fundo do que no topo do brejo, embora o número total de UFC por grama de solo não tenha sido estatisticamente diferente entre o fundo e o topo do brejo. No entanto, diferentes números de espécies e de UFC foram registrados entre os meses de fevereiro, março e outubro, no fundo e topo do brejo, o que mostra que a sazonalidade (época de coleta) também influencia a riqueza e abundância dos Mucoromycota na RPPN do Benedito (Figuras 5 e 6).

Os resultados desse trabalho também indicaram que a precipitação pluviométrica e os componentes disponíveis no solo influenciaram diretamente algumas das espécies de Mucoromycota (6B). O fato do fundo do brejo ter exibido maior diversidade (Shannon-Wiener e

Simpson) pode ter relação com a lixiviação de nutrientes pelo escoamento de água de áreas mais elevadas para as mais baixas (ZHAO et al., 2018). No entanto, deve-se destacar que algumas espécies (ex: gên. *Mucor*) foram predominantes em épocas menos úmidas, tendo *M. fragilis* e *M. circinelloides* sido as espécies mais frequentes (Figuras 5B, 6 e 7), ambas exibindo correlação negativa com a pluviosidade. Salienta-se que, em outubro de 2018, não choveu na RPPN do Benedito ². No entanto, inexistem informações na literatura de que espécies de *Mucor* sejam adaptadas a ambientes mais secos. Para o Brasil, por exemplo, apenas seis espécies de *Mucor* foram isoladas em áreas de Caatinga (incluindo *M. circinelloides*), enquanto 29 espécies foram isoladas de área de Mata Atlântica (incluindo *M. circinelloides* e *M. fragilis*) (FLORA..., 2020). Infelizmente, não há outros estudos que correlacionem a ocorrência desses fungos com a pluviosidade.

Souza (2019) e Alves et al. (2021a) também reportaram espécies de *Mucor* como as mais representativas no solo de diferentes brejos Pernambucanos. Tendo em vista que *Mucor* é o gênero da ordem Mucorales com o maior número de espécies descritas (cerca de 91) (WIJAYAWARDENE et al., 2020), era previsto que fossem isoladas mais espécies desse gênero, sendo também as mais frequentes nessa área de estudo (Figura 8). *Gongronella butleri* exibiu elevada frequência de ocorrência (9,44 %) e foi considerada muito frequente por ALVES et al. (2016), mas rara, tanto por Lima et al. (2018b) quanto por Alves et al. (2021a) em outros brejos de altitude de Pernambuco. Apesar de pertencer a um gênero com apenas seis espécies (WIJAYAWARDENE et al., 2020), *G. butleri* se sobressaiu ao apresentar melhor desenvolvimento em solos mais férteis, tal como *U. isabelina*.

Gongronella butleri, *U. isabelina* e *B. lamprospora*, apresentaram correlação negativa com a altitude e positiva com a fertilidade do solo e com a pluviosidade. Foi possível verificar que essas espécies foram mais frequentes no fundo do brejo, onde o aporte de nutrientes e umidade são mais elevados. *Mucor circinellodies* e *M. fragilis* foram as espécies mais frequentes no solo da RPPN do Benedito, especificamente no topo do brejo e, não coincidentemente, ambas exibiram correlações positiva com a altitude e negativas com a umidade, CTC, Na+e P+(Figuras 7 e 8).

Ainda com relação às espécies de Mucoromycota mais frequentes e, se considerando as principais variáveis do solo e a precipitação, observou-se que as espécies de *Mucor* tenderam a se agrupar em clusters e que as espécies de *Umbelopsis* ficaram próximas (Figura 7). Isso pode indicar afinidades entre essas espécies de acordo com algumas características ambientais.

² <https://pt.climate-data.org>

Por exemplo, a maioria dessas espécies apresentaram correlação negativa (neutra, em alguns casos) com a pluviosidade, K^+ , Na^+ , P, além do pH. Em um único estudo sobre a influência de fatores edáficos na estruturação das comunidades de fungos mucoráceos, em áreas de Mata Atlântica, Lima et al. (2020) concluíram que juntas, as variáveis do solo (incluindo muitas das testadas nesse estudo) foram responsáveis por 35,5 % da variação da composição das espécies, sendo o pH responsável por 53,32 % e 47,24 % da variação na riqueza e frequência dessas comunidades, respectivamente.

Foi notável a diferença das frequências relativas de *M. fragilis*, *G. butleri* e *M. circinelloides*, entre fundo e topo do brejo, sendo essas espécies responsáveis, respectivamente, por 13,33 %, 13,07 e 12,58 % da dissimilaridade das composições de espécies entre fundo e topo (3). Fica claro que a composição de espécies de Mucoromycota é diferente entre o fundo e o topo e que poucas espécies são (mais) responsáveis por essa dissimilaridade de frequência.

A análise de co-ocorrência (Figura 9) das espécies de Mucoromycota entre as espécies do fundo e topo mostrou que, no topo, duas potenciais novas espécies (*Mucor* sp. 4 e *Umbelopsis* sp. 2) apresentaram maiores valores de grau e de centralidade, indicando serem espécies com papel chave na estabilidade dessa rede. Nesse ecossistema, *M. circinelloides*, *U. isabellina* e *B. lamprospora* apresentaram importância secundária para a estruturação da comunidade na rede do topo. A centralidade e o grau dos nós no fundo dos brejos foram mais equilibrados, indicando que todas as espécies possuíam uma importância equivalente na estrutura dessa rede.

6.1.1 Serra do Comunaty

O número de espécies isoladas nesta área (38) (3) foi superior aos reportados por ALVES et al. (2016, 2021a), nos brejos de altitudes mencionados no tópico 6.1, das Serras dos Cavalos, do Jenipapo, Negra, do Jardim, do Vento e do Benedito, sendo próximo à riqueza reportada por (LIMA et al., 2018b), 39 espécies. Com isso, a riqueza da Serra do Comunaty pode ser considerada elevada, quando comparada aos trabalhos supracitados em brejos de altitude. Assim como apresentado no tópico 5.1, essa variação de riqueza de Mucoromycota verificada em diferentes áreas de brejos nordestinos pode estar associada a diversos fatores, como período de coleta, metodologia utilizada e/ou fatores bióticos e abióticos de cada área (ALVES et al., 2021a).

Várias das espécies isoladas neste trabalho foram reportadas em outros brejos nordesti-

nos, como *A. cornuta*, (LIMA et al., 2020; ALVES et al., 2021a), *A. repens*, *A. caatingaensis*, *C. bertholletiae*, *G. brasiliensis*, *G. butleri*, *M. fragilis*, *M. circinelloides*, *M. lusitanicus*, *M. irregulares*, *M. griseocyanus*, *M. ramosissimus* e *M. souzae* (ALVES et al., 2016; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; ALVES et al., 2021a). Algumas espécies foram também isoladas em áreas de Mata Atlântica, como *G. lacrispora*, *G. pedratalhadensis* (FREITAS et al., 2020), *A. repens*, *A. caatingaensis*, *C. bertholletiae*, *G. brasiliensis*, *G. butleri*, *M. circinelloides*, *M. fragilis*, *M. griseocyanus* e *M. ramosissimus* (SCHOENLEIN-CRUSIUS; BARROS, 2006; TIBPROMMA et al., 2017; FREITAS et al., 2020). *R. stolonifer* foi encontrado tanto em áreas semiáridas, quanto em brejos e Mata Atlântica (SCHOENLEIN-CRUSIUS; BARROS, 2006; SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; FREITAS et al., 2020; ALVES et al., 2021a). *R. arrhizus* var. *arrhizus*, *R. microsporus* e *S. racemosum*, foram isoladas em semiárido e brejos, (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; LIMA et al., 2018b; SOUZA, 2019; ALVES et al., 2021a). No entanto, o trabalho aqui apresentado revela uma nova espécie (*A. aguabelensis*), além de três espécies nunca reportadas para os neotrópicos (*M. pseudocircinelloides*, *M. pseudolusitanicus* e *U. nana*),

Os resultados mostraram que a elevação do terreno na Serra do Comunaty não influenciou o número médio de espécies isoladas por placa, as diversidades de Simpson e de Shannon, nem o número total de UFC por grama de solo (10). No entanto, a riqueza de espécies de Mucoromycota no topo foi superior ao meio e fundo, indicando que a altitude parece influenciar a riqueza, mas não a diversidade e abundância desses fungos. Entretanto, diferentes números de espécies e de UFC foram registrados entre os meses de maio, junho e agosto, no fundo, meio e topo do brejo (11), sugerindo que a sazonalidade influenciou a riqueza e abundância dos Mucoromycota na Serra do Comunaty (11A). A antropização que ocorre no meio do brejo também parece não ter influenciado a diversidade, riqueza ou o número de UFC, assim como reportados por FREITAS et al. (2020) para Mucoromycota da Reserva Biológica de Pedra Talhada (REBIO), em Alagoas, e no Parque Nacional e Histórico do Monte Pascoal (PARNAH).

O fato do topo do brejo ter exibido maior riqueza (3, 11A) não era esperado, já que é esperado que as regiões mais baixas exibissem maiores fertilidade e pH pelo escoamento de água, como foi observado nos trabalhos de Godinho et al. (2013) e Martins et al. (2003). No entanto, é possível que, nesse caso, maior quantidade de nutriente fique retida no topo do brejo, por esse ambiente apresentar vegetação preservada, diminuindo as perdas por lixiviação, o que pode explicar a baixa diferença de riqueza entre meio e fundo, por serem áreas não

favorecidas com grande vegetação.

As Figuras 11B e 12 indicam que *C. bertholletiae* apresenta afinidade com a fertilidade e umidade do solo, enquanto *M. circinelloides* parece mais adaptável a períodos de baixa pluviosidade e solos menos férteis. No entanto, como discutido para a RPPN do Benedito, não existem relatos na literatura sobre a predileção dessa espécie, bem como das outras espécies de *Mucor*, por áreas secas. No entanto, tanto *M. circinelloides*, como *C. bertholletiae*, foram mais frequentes no meio e/ ou topo do brejo (13), indicando que essas podem ter predileção por temperaturas mais amenas. *Cunninghamella bertholletiae* foi muito frequente nos brejos de altitude das Serra do Jardim (BSJ), Serra do Vento (BSV) e Serra do Benedito (ALVES, 2021), enquanto essa mesma espécie e *M. circinelloides* foram muito frequentes nos brejos das Serras do Bituri (BSB), Taquaritinga do Norte (TAQ) e Sítio Carro Quebrado (SOUZA, 2019), que exibem temperaturas mais amenas do que a caatinga circundante.

Absidia cornuta, *R. microsporus* e *G. lascrispora* indicaram compartilhar das mesmas propensões de fertilidade em ambientes com Na^+ , K^+ e baixa umidade. *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus* e *R. microsporus* exibiram correlação negativa com a chuva (Figuras 11B) e foram, junto com *A. cornuta*, mais frequentes no fundo do brejo. Ambas as espécies de *Rhizopus* são termotolerantes (ZHENG et al., 2007), sendo, portanto, esperado que tivessem sido mais frequentes no fundo do brejo, onde a temperatura média é mais elevada. Interessante que *A. cornuta* foi mais frequente no fundo do brejo (exibindo correlação negativa com a umidade), pois o holótipo foi isolado do brejo de altitude localizado no município de Garanhuns, com outro espécime isolado de uma área de Floresta Ombrófila em Tamandaré-PE, onde a umidade tende a ser elevada e a temperatura mais amena do que áreas de Caatinga (LIMA et al., 2020).

Mucor plumbeus e *G. brasiliensis* estão sendo citados pela primeira vez como muito frequentes em um brejo de altitude, tendo a última espécie sido rara nos brejos pernambucanos das Serras do Jardim, do Vento e do Benedito, por (ALVES et al., 2021a), e Serra de Bonito e Sítio Palmeira, por (LIMA et al., 2018b). Os clusters formados pelas espécies de *Mucor*, *Gongronella* com *Absidia*, e *Rhizopus* com *A. aguabelensis* e *S. racemosum*, indicam que pode haver afinidade entre essas espécies de acordo com algumas características ambientais, como por exemplo essas três últimas espécies, isoladas em ambientes semiáridos que tendem a ser pobres em nutrientes (SANTIAGO; SANTOS; MAIA, 2013; LIMA; SANTIAGO; SOUZA-MOTTA, 2016; LEITAO et al., 2021).

Ainda no que se refere à frequência relativa (13), (LIMA et al., 2018b) reportou resultado similar ao desse trabalho, em que *Absidia* sp. 2, *C. bertholletiae* e *R. stolonifer* foram as

espécies mais frequentes isoladas dos brejos de Serra de Bonito e Sítio Palmeira. Enquanto ALVES et al. (2016 2021a), reportou, respectivamente, *Cunninghamella* sp. 1, *G. butleri* e *C. elegans*, como mais frequentes dos brejos das Serras dos Cavalos, do Jenipapo e Negra, além de *C. bertholletiae* e *Gongronella* sp.1, do Jardim, do Vento e do Benedito.

De acordo com análise de dissimilaridade de porcentagens (SIMPER) da abundância média de Mucoromycota (4), fica claro que a composição de espécies é diferente entre esses três ecossistemas e que poucas espécies (*C. bertholletiae*, *A. cornuta* e *M. circinelloides*) são (mais) responsáveis por essa dissimilaridade, já que juntas contribuíram com quase 50 % da dissimilaridade das composições de espécies entre fundo, meio e topo.

A análise de co-ocorrência (14) mostra que o topo possui maior complexidade, quando comparado com o meio e o fundo, por apresentar maior número de arestas, ou seja, por exibir maior quantidade de interações entre espécies. As espécies chave, *R. stolonifer* e *A. caatinguensis*, que se destacaram no meio, e *Mucor* sp.15, *S. Racemosum*, *C. bertholletiae* e *R. microsporus*, no topo, apresentaram valores de grau e de centralidade maiores, indicando serem espécies que proporcionam a estabilidade da comunidade de espécies em cada altitude. Drigo et al. (2010), ao marcarem carbono e rastreá-lo, desde a assimilação pela planta até o solo, notaram que esse carbono é passado rapidamente para fungos micorrízicos arbusculares e lentamente desses para bactérias e outras populações de fungos rizosféricos. Isso sugere que pode acontecer algo similar com a análise de co-ocorrência, em que as espécies chave conseguem absorver determinados nutrientes de forma mais rápida, enquanto as demais espécies são dependentes dessas para recebê-los.

Outras coletas de solo e análises adicionais devem ser realizadas nas duas áreas estudadas, para que o conhecimento da riqueza de espécies de Mucoromycota nesses brejos seja ampliado, bem como constatar ou refutar, por exemplo, se há predileção das espécies de *Mucor* por áreas secas, *M. circinelloides* e *C. bertholletiae* por temperaturas mais amenas ou analisar os tipos de afinidade das espécies com diferentes variáveis ambientais.

6.2 ABSIDIA AGUABELENIS

Absidia aguabelensis (URM 8213) foi caracterizada com base em características moleculares e morfológicas, que claramente a diferiram das outras Espécies. Essa nova espécie é filogeneticamente próxima de *A. koreana* H.B. Lee, H.W. Lee & T.T.T. Nguyen, *A. saloensis* T.R.L. Cordeiro, D.X. Lima, Hyang B. Lee & A.L. Santiago e *A. cornuta* (14). Morfológica-

mente, *A. aguabelensis* pode ser facilmente distinguida de *A. koreana* por formar esporangióforos isolados ou em cachos de até 8, enquanto *A. koreana* forma esporangióforos isolados ou em cachos de até 6. As columelas de *A. koreana* são tipicamente globosas (ARIYAWANSA et al., 2015), enquanto as de *A. aguabelensis* são em forma de figo e hemisféricas. Além disso, os esporangiosporos de *A. koreana* são cilíndricos curtos ou cilíndricos ($2,15\text{--}2,35 \times 3,5\text{--}4,48 \mu\text{m}$) (ARIYAWANSA et al., 2015), menores do que os esporangiosporos de *A. aguabelensis*, que são globosos, subglobosos e cilíndricos.

Absidia aguabelensis é morfologicamente semelhante à *A. cornuta*, pois ambas formam esporangióforos isolados ou em cachos de até 8, com columelas em forma de figo [citadas como cônicas no protólogo de *A. cornuta* (LIMA et al., 2020)], com uma ou duas projeções (raramente três em *A. cornuta*), em sua parte central (LIMA et al., 2020). No entanto, algumas projeções nas columelas de *A. aguabelensis* são tão pequenas que parecem inconspícuas. Embora os esporangióforos de *A. aguabelensis* sejam mais longos e mais largos do que os de *A. cornuta*, que são $(65\text{--}) 70\text{--}250\text{--}(300) \times 2,5\text{--}5 \mu\text{m}$, os esporângios da nova espécie são ligeiramente menores do que os de *A. cornuta* [$15\text{--}35 \mu\text{m}$ diâm. (LIMA et al., 2020)]. No entanto, a principal diferença morfológica entre ambas espécies é a forma dos esporangiosporos, que são cilíndricos (não constritos no centro), globosos e subglobosos em *A. aguabelensis*, mas apenas cilíndricos e ligeiramente constritos no centro em *A. cornuta*. Considerando que a presença de mais de uma projeção na columela foi reportada para *A. cornuta*, *A. macrospora* Vánováand e *A. pernambucoensis* D.X. Lima, C.M. Souza-Motta & A.L. Santiago, o número de projeções por columela não deve ser utilizado como o único traço distintivo para delimitar espécies em *Absidia* (HESSELTINE; ELLIS, 1964; ELLIS; HESSELTINE, 1965; ELLIS; HESSELTINE, 1969; LIMA et al., 2020).

Nenhuma das espécies previamente descritas de *Absidia* compartilham os mesmos caracteres morfológicos observados em *A. aguabelensis*. Vale ressaltar que, em nível molecular, as sequências ITS e LSU do rDNA dessa espécie divergem de outras espécies. Dessa forma, *A. aguabelensis* é uma nova espécie. Esse estudo contribui para o conhecimento da taxonomia e distribuição dos fungos mucoráceos.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, dentro das condições experimentais estabelecidas, conclui-se que:

- Na RPPN do Benedito, a comunidade de Mucoromycota é representada por 18 espécies;
- A altitude influencia negativamente na diversidade de Mucoromycota na RPPN do Benedito, embora não influencie na frequência desses fungos;
- A altitude e a sazonalidade influenciam na composição de espécies, frequência relativa e riqueza dos Mucoromycota na RPPN do Benedito;
- No geral, as comunidades de Mucoromycota do topo do brejo da RPPN do Benedito, são negativamente influenciadas pela precipitação pluviométrica, capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P) disponível e Na^+ , mas positivamente associadas à saturação de Al^{3+} (m), ocorrendo o contrário para as comunidades do fundo;
- *Mucor fragilis* e *M. circinelloides* são as espécies mais frequentes na RPPN do Benedito, especificamente no topo do brejo, enquanto *G. butleri*, *U. isabelina* e *B. lamprospora* foram mais frequentes no fundo desse brejo.
- Na Serra do Comunaty, a comunidade de Mucoromycota é representada por 38 espécies;
- A altitude não influencia na diversidade e frequência do Mucoromycota no brejo da Serra do Comunaty, embora influencie na riqueza de espécies;
- A sazonalidade supostamente influencia na composição, riqueza e frequência de espécies de Mucoromycota no brejo da Serra do Comunaty;
- As comunidades de Mucoromycota do brejo da Serra do Comunaty são principalmente influenciadas por CTC, magnésio, fósforo, saturação por alumínio (m%), concentrações de Na^+ , potássio (K^+) e pela precipitação pluviométrica, embora as comunidades do topo, meio e fundo pareçam sofrer influências de diferentes variáveis do solo;
- *Mucor circinelloides* e *C. bertholletiae*, são frequentes no topo da Serra do Comunaty, enquanto *R. arrhizus* var. *arrhizus*, *R. microsporus* e *A. cornuta*, mais frequentes no fundo.

-
- *Mucor plumbeus* e *G. brasiliensis* são espécies muito frequentes em brejos de altitudes;
 - Espécies de *Mucor* tendem a formar clusters, tanto entre si, como com espécies de *Umbelopsis*, na RPPN do Benedito, assim como na Serra do Comunaty, mas também com espécies de gêneros diferentes nesse último brejo (*Gongronella* e *Absidia*);
 - *Mucor fragilis*, *G. butleri* e *M. circinelloides* são responsáveis pela dissimilaridade entre o fundo e topo da RPPN do Benedito, enquanto *C. bertholletiae*, *A. cornuta* e *M. circinelloides* são responsáveis pela dissimilaridade no fundo, meio e topo do brejo da Serra do Comunaty;
 - *Mucor* sp. 4 e *Umbelopsis* sp. 2 são espécies chave na estabilidade das comunidade de Mucoromycota do topo da RPPN do Benedito, enquanto, na Serra do Comunaty, *R. stolonifer* e *A. caatinguensis* são influentes sobre outras espécies no meio, e *Mucor* sp.15, *S. racemosum*, *C. bertholletiae* e *R. microsporus*, no topo;
 - *Absidia aguabelensis* é uma nova espécie, enquanto *Backusella* sp. 1, *Gongronella* sp 1, *Mucor* sp.7, 8, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 são prováveis novas espécies;
 - *Mucor pseudocircinelloides*, *M. pseudolusitanicus* e *U. nana* ocorrem no Brasil, mais especificamente no brejo da Serra do Comunaty.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. *Brasil, paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal mato-grossense, patrimônios básicos*. [S.l.]: Ateliê editorial, 2006. v. 2. 121-166 p.
- ADAMČÍK, S.; CAI, L.; CHAKRABORTY, D.; CHEN, X.-H.; COTTER, H. V. T.; DAI, D.-Q.; DAI, Y.-C.; DAS, K.; DENG, C.; GHOBAD-NEJHAD, M. et al. Fungal biodiversity profiles 1–10. *Cryptogamie, Mycologie*, BioOne, v. 36, n. 2, p. 121–166, 2015.
- ALASTRUEY-IZQUIERDO, A.; HOFFMANN, K.; HOOG, G. S. de; RODRIGUEZ-TUDELA, J. L.; VOIGT, K.; BIBASHI, E.; WALTHER, G. Species recognition and clinical relevance of the zygomycetous genus *lichtheimia* (syn. *absidia* pro parte, *mycocladus*). *Journal of Clinical Microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 48, n. 6, p. 2154–2170, 2010.
- ALEXOPOULOS, C.; MIMS, C. Blackwell m. *Introductory mycology. 4a Ed. New York: Journal Wiley*, p. 870, 1996.
- ALVES, A.; SOUZA, C. de; OLIVEIRA, R. de; CORDEIRO, T.; SANTIAGO, A. de. *Cunninghamella clavata* from brazil: a new record for the western hemisphere. *Mycotaxon*, Mycotaxon, v. 132, n. 2, p. 381–389, 2017.
- ALVES, A. L. S. d. M. et al. *Diversidade de mucorales em solos de brejo de altitude do semiárido de Pernambuco*. 86 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- ALVES, A. L. S. d. M. et al. Diversidade de mucorales (mucoromycotina) em brejos de altitude pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, p. 51, 2021.
- ALVES, A. L. S. d. M. et al. First occurrence of *backusella gigacellularis* (mucorales, mucoromycota) in a fragment of an upland forest within the semi-arid region of northeastern brazil. *Rodriguésia*, SciELO Brasil, v. 72, p. e01262019, 2021.
- ALVES, M. H.; CAMPOS-TAKAKI, G. M.; PORTO, A. L. F.; MILANEZ, A. I. Screening of *mucor* spp. for the production of amylase, lipase, polygalacturonase and protease. *Brazilian Journal of Microbiology*, SciELO Brasil, v. 33, p. 325–330, 2002.
- AMOS, R. E.; BARNETT, H. L. *Umbelopsis versiformis*, a new genus and species of the imperfects. *Mycologia*, v. 58, p. 805–808, 1966.
- ANDERSON, M. J.; WILLIS, T. J. Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology*, Wiley Online Library, v. 84, n. 2, p. 511–525, 2003.
- ANDRADE-LIMA, D. d. *Esboço fitoecológico de alguns brejos de Pernambuco*. [S.l.]: Instituto de Pesquisas Agronomicas de Pernambuco, 1966. 3–10 p.
- ANDRADE-LIMA, D. d. Present-day forest refuges in northeastern brazil. *Biological diversification in the tropics*, Columbia University Press New York, v. 245, p. 245–254, 1982.
- ANDRADE, R. F.; SILVA, T. A.; RIBEAUX, D. R.; RODRIGUEZ, D. M.; SOUZA, A. F.; LIMA, M. A.; LIMA, R. A.; SILVA, C. A. Alves da; CAMPOS-TAKAKI, G. M. et al. Promising biosurfactant produced by *cunninghamella echinulata* ucp 1299 using renewable resources and its application in cotton fabric cleaning process. *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi, v. 2018, 2018.

- ÁNGELES-ARGÁIZ, R.; GARIBAY-ORIJEL, R. La evolución de la simbiosis ectomicorrízica desde la perspectiva genómica. *Scientia fungorum*, Asociación Mexicana para el Estudio de los Hongos AC, v. 49, 2019.
- ARAÚJO, J. F. d. et al. *Produção de quitosana e bioemulsificante por Rhizopus microsporus (UCP 1304) através da fermentação submersa utilizando resíduos agroindustriais*. Dissertação de Mestrado — Universidade Católica de Pernambuco, 2018.
- ARAÚJO, S. M. S. de. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. *Revista científica da FASETE*, v. 5, p. 87–98, 2011.
- ARIYAWANSA, H. A.; HYDE, K. D.; JAYASIRI, S. C.; BUYCK, B.; CHETHANA, K. T.; DAI, D. Q.; DAI, Y. C.; DARANAGAMA, D. A.; JAYAWARDENA, R. S.; LÜCKING, R. et al. Fungal diversity notes 111–252—taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal diversity*, Springer, v. 75, p. 27–274, 2015.
- ARX, J. A. V. On mucoraceae s. str. and other families of the mucorales. *Sydowia*, v. 35, p. 10–26, 1982.
- ARX, J. A. V. et al. *The genera of fungi sporulating in pure culture*. [S.l.]: J. Cramer., 1974.
- BAINIER, G. *Étude sur les Mucorinées*. [S.l.]: F. Pichon et A. Cotillon, 1882.
- BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. In: *Proceedings of the international AAAI conference on web and social media*. [S.l.: s.n.], 2009. v. 3, n. 1, p. 361–362.
- BELTRÃO, B. *Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado de Pernambuco. Diagnóstico do Município de Águas Belas*. 2005. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15611>>. Acesso em: 23 de maio de 2018.
- BENJAMIN, R. K. The merosporangiferous mucorales. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, v. 4, n. 2, p. 321–433, 1959.
- BENNY, G. L. *Zygomycetes*. [S.l.]: Benny, G.L. (ed.). Synopsis and Classification of Living Organisms. New York, McGraw - Hill Book, 1982. 184–195 p.
- BENNY, G. L. *Zygomycetes*. 2005. Disponível em: <<http://www.zygomycetes.org>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.
- BENNY, G. L. Methods used by dr. rk benjamin, and other mycologists, to isolate zygomycetes. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, v. 26, n. 1, p. 37–61, 2008.
- BENNY, G. L.; BENJAMIN, R. Observations on thamnidiaceae (mucorales). new taxa, new combinations, and notes on selected species. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, v. 8, n. 3, p. 301–351, 1975.
- BENNY, G. L.; BENJAMIN, R. Observations on thamnidiaceae (mucorales). ii. chaetocladium, cokeromyces, mycotypha, and phascolomyces. *Aliso: A Journal of Systematic and Floristic Botany*, v. 8, n. 4, p. 391–424, 1976.

BENNY, G. L.; HUMBER, R. A.; VOIGT, K. 8 zygomycetous fungi: Phylum entomophthoromycota and subphyla kickxellomycotina, mortierellomycotina, mucoromycotina, and zoopagomycotina. In: . [s.n.], 2014. p. 209–250. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:81870135>>.

BENNY, G. L.; SMITH, M. E.; KIRK, P. M.; TRETTER, E. D.; WHITE, M. M. Challenges and future perspectives in the systematics of kickxellomycotina, mortierellomycotina, mucoromycotina, and zoopagomycotina. In: _____. *Biology of Microfungi*. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 65–126. ISBN 978-3-319-29137-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29137-6_5>.

BENUCCI, G. M. N.; WANG, X.; ZHANG, L.; BONITO, G.; YU, F. Fungal and bacterial community composition and structure in fermented 'hairy' tofu (mao tofu). Authorea, Inc., out. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22541/au.160333930.03738003/v1>>.

BONFANTE, P.; VENICE, F. Mucoromycota: going to the roots of plant-interacting fungi. *Fungal Biology Reviews*, v. 34, n. 2, p. 100–113, 2020. ISSN 1749-4613. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S174946131930051X>>.

CANNON, P. F.; KIRK, P. M. *Fungal families of the world*. [S.l.]: CAB International. Wallingford, United Kingdom, 2007.

CARVALHO, P. H. de O.; ARRUDA, E. L.; JAPIASSUL, K. B.; SOUZA, P. L. de M. li-442-biorremediação do propofol catalisada por cunninghamella elegans atcc 26169 para tratamento de efluentes. In: 30º Congresso ABES. [S.l.: s.n.], 2019.

CAVALHEIRO, G. F.; SANGUINE, I. S.; SANTOS, F. R. d. S.; COSTA, A. C. da; FERNANDES, M.; PAZ, M. F. da; FONSECA, G. G.; LEITE, R. S. R. Catalytic properties of amylolytic enzymes produced by gongronella butleri using agroindustrial residues on solid-state fermentation. *Biomed Res. Int.*, v. 2017, p. 7507523, dez. 2017.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, v. 18, n. 1, p. 117–143, 1993. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>>.

CORDEIRO, L.; LEE, H. B.; NGUYEN, T. T. T.; GURGEL, L. M. S.; AZEVEDO, A. D. Absidia bonitoensis (mucorales, mucoromycota), a new species isolated from the soil of an upland atlantic forest in northeastern brazil. *Nova Hedwigia*, v. 112, n. 1-2, p. 241–251, 2021.

CORDEIRO, T. R. L.; NGUYEN, T. T. T.; LIMA, D. X.; SILVA, S. C. da; LIMA, C. L. F. de; LEITÃO, J. D. A.; GURGEL, L.; LEE, H. B.; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. Two new species of the industrially relevant genus absidia (mucorales) from soil of the brazilian atlantic forest. *Acta Botanica Brasilica*, v. 34, p. 549–558, 2020. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:224988861>>.

CPRH. *Agência Estadual de Meio Ambiente (2014) governo de Pernambuco*. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/rppn-do-benedito/>>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

CPRH. *Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Gravatá, estado de Pernambuco*. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15965/1/rel_cadastro_gravata.pdf>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

CROUS, P. W.; CARNEGIE, A. J.; WINGFIELD, M. J.; SHARMA, R.; MUGHINI, G.; NOORDELOOS, M. E.; SANTINI, A.; SHOUCHE, Y. S.; BEZERRA, J. D. P.; DIMA, B.; GUARNACCIA, V.; IMREFI, I.; JURJEVIĆ, Ž.; KNAPP, D. G.; KOVÁCS, G. M.; MAGISTÀ, D.; PERRONE, G.; RĂMĂ, T.; REBRIEV, Y. A.; SHIVAS, R. G.; SINGH, S. M.; SOUZA-MOTTA, C. M.; THANGAVEL, R.; ADHAPURE, N. N.; ALEXANDROVA, A. V.; ALFENAS, A. C.; ALFENAS, R. F.; ALVARADO, P.; ALVES, A. L.; ANDRADE, D. A.; ANDRADE, J. P.; BARBOSA, R. N.; BARILI, A.; BARNES, C. W.; BASEIA, I. G.; BELLANGER, J.-M.; BERLANAS, C.; BESSETTE, A. E.; BESSETTE, A. R.; BIKETOVA, A. Y.; BOMFIM, F. S.; BRANDRUD, T. E.; BRANSGROVE, K.; BRITO, A. C. Q.; CANO-LIRA, J. F.; CANTILLO, T.; CAVALCANTI, A. D.; CHEEWANGKON, R.; CHIKOWSKI, R. S.; CONFORTO, C.; CORDEIRO, T. R. L.; CRAINE, J. D.; CRUZ, R.; DAMM, U.; OLIVEIRA, R. J. V. de; SOUZA, J. T. de; SOUZA, H. G. de; DEARNALEY, J. D. W.; DIMITROV, R. A.; DOVANA, F.; ERHARD, A.; ESTEVE-RAVENTÓS, F.; FÉLIX, C. R.; FERISIN, G.; FERNANDES, R. A.; FERREIRA, R. J.; FERRO, L. O.; FIGUEIREDO, C. N.; FRANK, J. L.; FREIRE, K. T. L. S.; GARCÍA, D.; GENÉ, J.; GÊSIORSKA, A.; GIBERTONI, T. B.; GONDRA, R. A. G.; GOULIAMOVA, D. E.; GRAMAJE, D.; GUARD, F.; GUSMÃO, L. F. P.; HAITOOK, S.; HIROOKA, Y.; HOUBRAKEN, J.; HUBKA, V.; INAMDAR, A.; ITURRIAGA, T.; ITURRIETA-GONZÁLEZ, I.; JADAN, M.; JIANG, N.; JUSTO, A.; KACHALKIN, A. V.; KAPITONOV, V. I.; KARADELEV, M.; KARAKEHIAN, J.; KASUYA, T.; KAUTMANOVÁ, I.; KRUSE, J.; KUŠAN, I.; KUZNETSOVA, T. A.; LANDELL, M. F.; LARSSON, K.-H.; LEE, H. B.; LIMA, D. X.; LIRA, C. R. S.; MACHADO, A. R.; MADRID, H.; MAGALHÃES, O. M. C.; MAJEROVA, H.; MALYSHEVA, E. F.; MAPPERSON, R. R.; MARBACH, P. A. S.; MARTÍN, M. P.; MARTÍN-SANZ, A.; MATOČEC, N.; MCTAGGART, A. R.; MELLO, J. F.; MELO, R. F. R.; MEŠIĆ, A.; MICHEREFF, S. J.; MILLER, A. N.; MINOSHIMA, A.; MOLINERO-RUIZ, L.; MOROZOVA, O. V.; MOSOH, D.; NABE, M.; NAIK, R.; NARA, K.; NASCIMENTO, S. S.; NEVES, R. P.; OLARIAGA, I.; OLIVEIRA, R. L.; OLIVEIRA, T. G. L.; ONO, T.; ORDOÑEZ, M. E.; OTTONI, A. d. M.; PAIVA, L. M.; PANCORBO, F.; PANT, B.; PAWŁOWSKA, J.; PETERSON, S. W.; RAUDABAUGH, D. B.; RODRÍGUEZ-ANDRADE, E.; RUBIO, E.; RUSEVSKA, K.; SANTIAGO, A. L. C. M. A.; SANTOS, A. C. S.; SANTOS, C.; SAZANOVA, N. A.; SHAH, S.; SHARMA, J.; SILVA, B. D. B.; SIQUIER, J. L.; SONAWANE, M. S.; STCHIGEL, A. M.; SVETASHEVA, T.; TAMAKEAW, N.; TELLERIA, M. T.; TIAGO, P. V.; TIAN, C. M.; TKALČEC, Z.; TOMASHEVSKAYA, M. A.; TRUONG, H. H.; VECHERSKII, M. V.; VISAGIE, C. M.; VIZZINI, A.; YILMAZ, N.; ZMITROVICH, I. V.; ZVYAGINA, E. A.; BOEKHOUT, T.; KEHLET, T.; LÆSSØE, T.; GROENEWALD, J. Z. Fungal planet description sheets: 868-950. *Persoonia*, Naturalis Biodiversity Center, v. 42, n. 1, p. 291–473, jun. 2019.

CROUS, P. W.; LUANGSA-ARD, J. J.; WINGFIELD, M. J.; CARNEGIE, A. J.; HERNÁNDEZ-RESTREPO, M.; LOMBARD, L.; ROUX, J.; BARRETO, R. W.; BASEIA, I. G.; CANO-LIRA, J. F.; MARTÍN, M. P.; MOROZOVA, O. V.; STCHIGEL, A. M.; SUMMERELL, B. A.; BRANDRUD, T. E.; DIMA, B.; GARCÍA, D.; GIRALDO, A.; GUARRO, J.; GUSMÃO, L. F. P.; KHAMSTORN, P.; NOORDELOOS, M. E.; NUANKAEW, S.; PINRUAN, U.; RODRÍGUEZ-ANDRADE, E.; SOUZA-MOTTA, C. M.; THANGAVEL, R.; IPEREN, A. L. van; ABREU, V. P.; ACCIOLY, T.; ALVES, J. L.; ANDRADE, J. P.; BAHAM, M.; BARAL, H.-O.; BARBIER, E.; BARNES, C. W.; BENDIKSEN, E.; BERNARD, E.; BEZERRA, J. D. P.; BEZERRA, J. L.; BIZIO, E.; BLAIR, J. E.; BULYONKOVA, T. M.; CABRAL, T. S.; CAIAFA, M. V.; CANTILLO, T.; COLMÁN, A. A.; CONCEIÇÃO, L. B.; CRUZ, S.; CUNHA, A. O. B.; DARVEAUX, B. A.; SILVA, A. L. da; SILVA, G. A. da; SILVA, G. M. da; SILVA, R. M. F. da; OLIVEIRA, R. J. V. de; OLIVEIRA, R. L.; SOUZA, J. T.

D.; DUEÑAS, M.; EVANS, H. C.; EPIFANI, F.; FELIPE, M. T. C.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; FERREIRA, B. W.; FIGUEIREDO, C. N.; FILIPPOVA, N. V.; FLORES, J. A.; GENÉ, J.; GHORBANI, G.; GIBERTONI, T. B.; GLUSHAKOVA, A. M.; HEALY, R.; HUHNDOF, S. M.; ITURRIETA-GONZÁLEZ, I.; JAVAN-NIKKHAH, M.; JUCIANO, R. F.; JURJEVIĆ, Ž.; KACHALKIN, A. V.; KEOCHANPHENG, K.; KRISAI-GREILHUBER, I.; LI, Y.-C.; LIMA, A. A.; MACHADO, A. R.; MADRID, H.; MAGALHÃES, O. M. C.; MARBACH, P. A. S.; MELANDA, G. C. S.; MILLER, A. N.; MONGKOLSAMRIT, S.; NASCIMENTO, R. P.; OLIVEIRA, T. G. L.; ORDOÑEZ, M. E.; ORZES, R.; PALMA, M. A.; PEARCE, C. J.; PEREIRA, O. L.; PERRONE, G.; PETERSON, S. W.; PHAM, T. H. G.; PIONTELLI, E.; PORDEL, A.; QUIJADA, L.; RAJA, H. A.; PAZ, E. Rosas de; RYVARDEN, L.; SAITTA, A.; SALCEDO, S. S.; SANDOVAL-DENIS, M.; SANTOS, T. A. B.; SEIFERT, K. A.; SILVA, B. D. B.; SMITH, M. E.; SOARES, A. M.; SOMMAI, S.; SOUSA, J. O.; SUETRONG, S.; SUSCA, A.; TEDERSOO, L.; TELLERIA, M. T.; THANAKITPIPATTANA, D.; VALENZUELA-LOPEZ, N.; VISAGIE, C. M.; ZAPATA, M.; GROENEWALD, J. Z. Fungal planet description sheets: 785-867. *Persoonia*, Naturalis Biodiversity Center, v. 41, n. 1, p. 238, dez. 2018.

CRUZ, A. F. da; GUSMÃO, L. F. P. Fungos conidiais na caatinga: espécies lignícolas. *Acta Amazonica*, 2009. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:80823496>>.

CRUZ, A. R. da; MARQUES, M. F. O.; GUSMÃO, L. F. P. Conidial fungi from the semi-arid caatinga biome of Brazil: The genus *menisporopsis*. *Acta Botanica Brasilica*, v. 28, p. 339–345, 2014. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85083175>>.

DESIRÒ, A.; RIMINGTON, W. R.; JACOB, A.; POL, N. V.; SMITH, M. E.; TRAPPE, J. M.; BIDARTONDO, M. I.; BONITO, G. Multigene phylogeny of endogonales, an early diverging lineage of fungi associated with plants. *IMA Fungus*, v. 8, n. 2, p. 245–257, Dec 2017. ISSN 2210-6359. Disponível em: <<https://doi.org/10.5598/ima fungus.2017.08.02.03>>.

DIX, N.; WEBSTER, J. *Fungal Ecology*. Chapman & Hall, 1995. ISBN 9780412229602. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=KKTWAAAAMAAJ>>.

DOILOM, M.; GUO, J.-W.; PHOOKAMSAK, R.; MORTIMER, P. E.; KARUNARATHNA, S. C.; DONG, W.; LIAO, C.-F.; YAN, K.; PEM, D.; SUWANNARACH, N. et al. Screening of phosphate-solubilizing fungi from air and soil in Yunnan, China: four novel species in *Aspergillus*, *Gongronella*, *Penicillium*, and *Talaromyces*. *Frontiers in Microbiology*, Frontiers Media SA, v. 11, p. 585215, 2020.

DOLATABADI, S.; WALTHER, G.; ENDE, A. G. V. D.; HOOG, G. D. Diversity and delimitation of *Rhizopus microsporus*. *Fungal Diversity*, Springer, v. 64, p. 145–163, 2014.

DOUROU, M.; MIZERAKIS, P.; PAPANIKOLAOU, S.; AGGELIS, G. Storage lipid and polysaccharide metabolism in *Yarrowia lipolytica* and *Umbelopsis isabellina*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Springer, v. 101, p. 7213–7226, 2017.

DRIGO, B.; PIJL, A. S.; DUYTS, H.; KIELAK, A. M.; GAMPER, H. A.; HOUTEKAMER, M. J.; BOSCHKER, H. T.; BODELIER, P. L.; WHITELEY, A. S.; VEEN, J. A. v. et al. Shifting carbon flow from roots into associated microbial communities in response to elevated atmospheric CO₂. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 107, n. 24, p. 10938–10942, 2010.

- DUONG, T. T.; NGUYEN, T. T. T.; JEON, S. J.; LEE, H. B. Phylogenetic status of an undiscovered zygomycete species, syncephalastrum monosporum, in korea. *The Korean Journal of Mycology*, The Korean Society of Mycology, v. 44, n. 4, p. 371–376, 2016.
- ELLIS, J.; HESSELTINE, C. Two new members of the mucorales. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 61, n. 5, p. 863–872, 1969.
- ELLIS, J.; HESSELTINE, C. W. The genus absidia: globose-spored species. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 57, n. 2, p. 222–235, 1965.
- FISCHER, A. Rabenhorst's kryptogamen-flora. *Pilze-Phycomycetes. 2nd edition*, Eduard Kummer, Leipzig, 1892.
- FLORA DO BRASIL 2020, ALGAS, FUNGOS E PLANTAS. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB120276>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.
- FREITAS, L. S.; MARTINS, E. da S.; FERREIRA, O. E. Produção e caracterização de α -amilase termoestável de syncephalastrum racemosum. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 12, n. 4, 2014.
- FREITAS, L. W. S. d. et al. *Diversidade de fungos zigospóricos em áreas nativas e antropizadas da Mata Atlântica do Nordeste brasileiro*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2020.
- GIULIETTI, A.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. de; (BRAZIL), I. do Milênio do S.-Á.; (BRAZIL), A. P. do N.; TECNOLÓGICO, C. N. de Desenvolvimento Científico e. *Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro*. Instituto do Milênio do Semi Árido, 2006. (Instituto do Milênio do Semi-árido). ISBN 9788589692069. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=NAomAQAAMAAJ>>.
- GODINHO, T. de O.; CALDEIRA, M. V. W.; ROCHA, J. H. T.; CALIMAN, J. P.; VIERA, M. Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de floresta estacional semidecidual. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO*, v. 1, n. 3, p. 97–109, 2013.
- GUINDON, S.; GASCUEL, O. A simple, fast, and accurate algorithm to estimate large phylogenies by maximum likelihood. *Systematic biology*, Society of Systematic Zoology, v. 52, n. 5, p. 696–704, 2003.
- HALL, T. A. et al. Bioedit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for windows 95/98/nt. In: OXFORD. *Nucleic acids symposium series*. [S.l.], 1999. v. 41, n. 41, p. 95–98.
- HALLUR, V.; PRAKASH, H.; SABLE, M.; PREETAM, C.; PURUSHOTHAM, P.; SENAPATI, R.; SHANKARNARAYAN, S. A.; BAG, N. D.; RUDRAMURTHY, S. M. Cunninghamella arunalokei a new species of cunninghamella from india causing disease in an immunocompetent individual. *Journal of Fungi*, MDPI, v. 7, n. 8, p. 670, 2021.
- HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, R. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology spectrum*, Am Soc Microbiol, v. 5, n. 4, p. 10–1128, 2017.
- HERMET, A.; MÉHEUST, D.; MOUNIER, J.; BARBIER, G.; JANY, J.-L. Molecular systematics in the genus mucor with special regards to species encountered in cheese. *Fungal biology*, Elsevier, v. 116, n. 6, p. 692–705, 2012.

- HESELTIME, C. W. A millennium of fungi, food, and fermentation. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 57, n. 2, p. 149–197, 1965.
- HESELTIME, C. W. Microbiology of oriental fermented foods. *Annual review of microbiology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 37, n. 1, p. 575–601, 1983.
- HESELTIME, C. W.; ELLIS, J. Notes on mucorales, especially absidia. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 53, n. 4, p. 406–426, 1961.
- HESELTIME, C. W.; ELLIS, J. The genus absidia: Gongronella and cylindrical-spored species of absidia. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 56, n. 4, p. 568–601, 1964.
- HESELTIME, C. W.; ELLIS, J. Species of absidia with ovoid sporangiospores. i. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 58, n. 5, p. 761–785, 1966.
- HESELTIME, C. W.; FENNELL, D. I. The genus circinella. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 47, n. 2, p. 193–212, 1955.
- HIBBETT, D. S.; BINDER, M.; BISCHOFF, J. F.; BLACKWELL, M.; CANNON, P. F.; ERIKSSON, O. E.; HUHNDORF, S.; JAMES, T.; KIRK, P. M.; LÜCKING, R. et al. A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Mycological research*, Elsevier, v. 111, n. 5, p. 509–547, 2007.
- HILL, I. D. Algorithm as 66: The normal integral. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, JSTOR, v. 22, n. 3, p. 424–427, 1973.
- HOFF, J.; KLOPFENSTEIN, N.; MCDONALD, G.; TONN, J.; KIM, M.-S.; ZAMBINO, P.; HESSBURG, P.; ROGERS, J.; PEEVER, T.; CARRIS, L. Fungal endophytes in woody roots of douglas-fir (*pseudotsuga menziesii*) and ponderosa pine (*pinus ponderosa*). *Forest Pathology*, Wiley Online Library, v. 34, n. 4, p. 255–271, 2004.
- HOFFMANN, K.; DISCHER, S.; VOIGT, K. Revision of the genus absidia (mucorales, zygomycetes) based on physiological, phylogenetic, and morphological characters; thermotolerant absidia spp. form a coherent group, mycocladiaceae fam. nov. *Mycological research*, Elsevier, v. 111, n. 10, p. 1169–1183, 2007.
- HOFFMANN, K.; PAWŁOWSKA, J.; WALTHER, G.; WRZOSEK, M.; HOOG, G. D.; BENNY, G.; KIRK, P.; VOIGT, K. The family structure of the mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, Naturalis Biodiversity Center, v. 30, n. 1, p. 57–76, 2013.
- HOFFMANN, K.; VOIGT, K. Absidia parricida plays a dominant role in biotrophic fusion parasitism among mucoralean fungi (zygomycetes): Lentamyces, a new genus for a. parricida and a. zychae. *Plant Biology*, Wiley Online Library, v. 11, n. 4, p. 537–554, 2009.
- HYDE, K. D.; LI, G. J.; ZHAO, R. L.; HONGSANAN, S.; ABDEL-AZIZ, F. A.; ABDEL-WAHAB, M. A.; ALVARADO, P.; ALVES-SILVA, G.; AMMIRATI, J. F.; ARIYAWANSA, H. A. et al. Fungal diversity notes 253–366: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal diversity*, Springer, v. 78, p. 1–237, 2016.
- INDEX FUNGORUM. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/>>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

JACOBS, K.; BOTHA, A. *Mucor renisporus* sp. nov., a new coprophilous species from southern africa. *Fungal Diversity*, v. 29, n. 1, p. 27–35, 2008.

JIN, Y. J. Y.; WALTHER, G.; DIEPENINGEN, A. D. v.; ENDE, A. v. d.; RUOYU, L. R. L.; MOUSSA, T. A. A.; ALMAGHRABI, O. A.; HOOG, G. S. d. Dna barcoding of clinically relevant cunninghamella species. 2015.

KENDRICK, B. *The Fifth Kingdom*. Hackett Publishing Company, Incorporated, 2017. ISBN 9781585108626. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=030zDwAAQBAJ>>.

KIRCHMAIR, M.; NEUHAUSER, S.; HUBER, L.; STRASSER, H. The impact of soil treatment on soil mycobiota. *IOBC/WPRS Bull*, v. 31, p. 239–44, 2008.

KIRK, P. M. Nomenclatural novelties. In: *Index Fungorum no. 11*. [S.l.: s.n.], 2012.

KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; MINTER, D. W.; STALPERS, J. A. Dictionary of the fungi. 10th edition. In: . [s.n.], 2008. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:119038349>>.

KRYPTOGRAMMEN-FLORA von Schlesien. *Nature*, v. 32, n. 813, p. 76–76, May 1885. ISSN 1476-4687. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/032076a0>>.

KURTZ, Z. D.; MÜLLER, C. L.; MIRALDI, E. R.; LITTMAN, D. R.; BLASER, M. J.; BONNEAU, R. A. Sparse and compositionally robust inference of microbial ecological networks. *PLoS computational biology*, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 11, n. 5, p. e1004226, 2015.

LACAZ, C. d. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C.; HEINS-VACCARI, E. M.; MELO, N. T. D. Tratado de micologia médica. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 44, n. 5, p. 297–298, 2002.

LARKIN, M. A.; BLACKSHIELDS, G.; BROWN, N. P.; CHENNA, R.; MCGETTIGAN, P. A.; MCWILLIAM, H.; VALENTIN, F.; WALLACE, I. M.; WILM, A.; LOPEZ, R. et al. Clustal w and clustal x version 2.0. *bioinformatics*, Oxford University Press, v. 23, n. 21, p. 2947–2948, 2007.

LEGENDRE, P.; ANDERSON, M. J. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological monographs*, Wiley Online Library, v. 69, n. 1, p. 1–24, 1999.

LEITAO, J.; CORDEIRO, T.; NGUYEN, T. T.; LEE, H. B.; GURGEL, L.; SANTIAGO, A. de. *Absidia aguabelensis* sp. nov.: A new mucoralean fungi isolated from a semiarid region in brazil. *Phytotaxa*, Magnolia Press, v. 516, n. 1, p. 83–91, 2021.

LI, G. J.; HYDE, K. D.; ZHAO, R. L.; HONGSANAN, S.; ABDEL-AZIZ, F. A.; ABDEL-WAHAB, M. A.; ALVARADO, P.; ALVES-SILVA, G.; AMMIRATI, J. F.; ARIYAWANSA, H. A. et al. Fungal diversity notes 253–366: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal diversity*, Springer, v. 78, p. 1–237, 2016.

LI, X.; GAI, J.; CAI, X.; LI, X.; CHRISTIE, P.; ZHANG, F.; ZHANG, J. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with two co-occurring perennial plant species on a tibetan altitudinal gradient. *Mycorrhiza*, Springer, v. 24, p. 95–107, 2014.

LIMA, C. L. D.; LIMA, D. X.; SOUZA, C. A. D.; OLIVEIRA, R. J. D.; CAVALCANTI, I. B.; GURGEL, L.; SANTIAGO, A. Description of *mucor pernambucoensis* (mucorales, mucoromycota), a new species isolated from the brazilian upland rainforest. *Phytotaxa*, v. 350, n. 3, p. 274, 2018.

LIMA, C. L. F. de et al. *Diversidade de Mucorales em duas áreas de brejo de altitude de Pernambuco*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

LIMA, C. L. F. de; LIMA, D. X.; CORDEIRO, T. R. L.; LEE, H. B.; NGUYEN, T. T. T.; GURGEL, L.; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. *Absidia bonitoensis* (mucorales, mucoromycota), a new species isolated from the soil of an upland atlantic forest in northeastern brazil. *Nova Hedwigia*, v. 112, p. 241–251, 2021. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:233913369>>.

LIMA, C. L. F. de; LIMA, D. X.; CUNHA, G. C. L. da; LEITÃO, J. D. A.; FREITAS, L. W. S. de; GURGEL, L.; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. *Isomucor truffemiae* j.i. de souza, pires-zottarelli & harakava (mucorales, mucoromycota): the second report worldwide and first from soil in northeastern brazil. *Check List*, v. 16, p. 1103–1107, 2020. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225306835>>.

LIMA, C. L. F. de; LIMA, D. X.; SOUZA, C. A. F. de; OLIVEIRA, R. J. V. de; CAVALCANTI, I. B.; GURGEL, L.; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. Description of *mucor pernambucoensis* (mucorales, mucoromycota), a new species isolated from the brazilian upland rainforest. *Phytotaxa*, v. 350, p. 274–282, 2018. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:90308020>>.

LIMA, D. X.; CORDEIRO, T. R.; SOUZA, C. A. D.; OLIVEIRA, R. J. de; LEE, H. B.; SOUZA-MOTTA, C. M.; SANTIAGO, A. L. D. A. Morphological and molecular evidence for two new species of *absidia* from neotropic soil. *Phytotaxa*, v. 446, n. 1, p. 61–71, 2020.

LIMA, D. X.; SANTIAGO, A. L. C. M. D. A.; SOUZA-MOTTA, C. M. D. Diversity of mucorales in natural and degraded semi-arid soils. *Brazilian Journal of Botany*, Springer, v. 39, p. 1127–1133, 2016.

LIMA, D. X.; VOIGT, K.; SOUZA, C.; OLIVEIRA, R.; SOUZA-MOTTA, C. M.; SANTIAGO, A. et al. Description of *backusella constricta* sp. nov. mucorales, ex zygomycota from the brazilian atlantic rainforest, including a key to species of *backusella*. *Phytotax*, Magnolia Press, v. 289, n. 1, p. 59–68, 2016.

LIMA-NETA, R. G. de; NEVES, R. P.; SANTIAGO, A. L. C. M. A. *Pocket Guide to Mycological Diagnosis*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019. (Pocket guides to biomedical sciences). ISBN 9781138055940. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=NVPwtAEACAAJ>>.

LIU, H.; ZHAO, S.; JIN, Y.; YUE, X.; DENG, L.; WANG, F.; TAN, T. Production of fumaric acid by immobilized *rhizopus arrhizus* rh 7-13-9# on loofah fiber in a stirred-tank reactor. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 244, p. 929–933, 2017.

LIU, X.-Y. Taxonomy and phylogeny of the *absidia* (cunninghamellaceae, mucorales) introducing nine new species and two new combinations from china. 2021.

LIU, X. Y.; HUANG, H.; ZHENG, R. Y. Delimitation of *rhizopus* varieties based on igs rdna sequences. *Sydowia*, v. 60, n. 1, p. 93–112, 2008.

- MARQUES, A. de L.; SILVA, J. B. da; SILVA, D. G. Refúgios úmidos do semiárido: um estudo sobre o brejo de altitude de areia-pb. *Revista Geotemas*, v. 4, n. 2, p. 17–31, 2014.
- MARTINS, M. R.; SANTOS, C.; PEREIRA, P.; CRUZ-MORAIS, J.; LIMA, N. Metalaxyl degradation by mucorales strains gongronella sp. and rhizopus oryzae. *Molecules*, MDPI, v. 22, n. 12, p. 2225, 2017.
- MARTINS, S. V.; SILVA, N. R. S.; SOUZA, A. L. de; NETO, J. A. A. M. Distribuição de espécies arbóreas em um gradiente topográfico de floresta estacional semidecidual em viçosa, mg tree species distribution in a topographical gradient of tropical semideciduous forest in viçosa, mg. 2003.
- MENDONÇA, R. de S.; SÁ, A. V. P.; ROSENDO, L. A.; SANTOS, R. A. dos; MARQUES, N. S. A. do A.; SOUZA, A. F.; RODRÍGUEZ, D. M.; TAKAKI, G. M. de C. Produção de biossurfactante e lipídeos por uma nova cepa de absidia cylindrospora ucp 1301 isolada do solo da caatinga usando subprodutos agroindustriais de baixo custo. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 8300–8313, 2021.
- MEYER, W.; WALTER, G. A. M. S. Delimitation of umbelopsis (mucorales, umbelopsidaceae fam. nov.) based on its sequence and rflp data. *Mycological research*, Cambridge University Press, v. 107, n. 3, p. 339–350, 2003.
- MILNE, I.; WRIGHT, F.; ROWE, G.; MARSHALL, D. F.; HUSMEIER, D.; MCGUIRE, G. Topali: software for automatic identification of recombinant sequences within dna multiple alignments. *Bioinformatics*, Oxford University Press, v. 20, n. 11, p. 1806–1807, 2004.
- MISRA, P. C. A new species of syncephalastrum. *Mycotaxon*, v. 3, n. 1, p. 51–54, 1975. ISSN 0093-4666. Disponível em: <<https://eurekamag.com/research/014/884/014884743.php>>.
- MOLAVERDI, M.; KARIMI, K.; MIRMOHAMADSADEGHI, S.; GALBE, M. High titer ethanol production from rice straw via solid-state simultaneous saccharification and fermentation by mucor indicus at low enzyme loading. *Energy conversion and management*, Elsevier, v. 182, p. 520–529, 2019.
- NASCIMENTO, T. P.; SALES, A. E.; PORTO, T. S.; COSTA, R. M. P. B.; BREYDO, L.; UVERSKY, V. N.; PORTO, A. L. F.; CONVERTI, A. Purification, biochemical, and structural characterization of a novel fibrinolytic enzyme from mucor subtilissimus ucp 1262. *Bioprocess and biosystems engineering*, Springer, v. 40, p. 1209–1219, 2017.
- NGUYEN, T. T.; VOIGT, K.; SANTIAGO, A. L. C. M. d. A.; KIRK, P. M.; LEE, H. B. Discovery of novel backusella (backusellaceae, mucorales) isolated from invertebrates and toads in cheongyang, korea. *Journal of Fungi*, MDPI, v. 7, n. 7, p. 513, 2021.
- NOUT, M. R.; KIERS, J. Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millenium. *Journal of applied microbiology*, Blackwell Science Ltd Oxford, UK, v. 98, n. 4, p. 789–805, 2005.
- O'DONNELL, K.; LUTZONI, F. M.; WARD, T. J.; BENNY, G. L. Evolutionary relationships among mucoralean fungi (zygomycota): evidence for family polyphyly on a large scale. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 93, n. 2, p. 286–297, 2001.
- OKSANEN, J. Vegan: community ecology package. <http://vegan.r-forge.r-project.org/>, 2010.

OLIVEIRA, L.; CAVALCANTI, M.; FERNANDES, M.; LIMA, D. Diversity of filamentous fungi isolated from the soil in the semiarid area, pernambuco, brazil. *Journal of Arid Environments*, Elsevier, v. 95, p. 49–54, 2013.

PAIVA, J. B. d. P. et al. Produção de tanase por cunninghamella echinulata ucp 1305 através de fermentação submersa utilizando meios alternativos contendo resíduos agroindustriais. Universidade Católica de Pernambuco, 2019.

PAIVA, J. B. de; LINS, U. M. de B. L.; LEMOS, D. G. de L.; PAIVA, M. K. dos S.; FILHO, A. J. G.; SOUZA, L. V. M. e; SANTOS, I. G. dos; SILVA, C. A. da. Reaproveitamento de resíduos alimentares na produção de tanase por cunninghamella echinulata ucp 1305 através de fermentação submersa / reuse of food waste in the production of tannase by cunninghamella echinulata ucp 1305 through submerged fermentation. *Brazilian Journal of Development*, 2020. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:232438327>>.

PAPANIKOLAOU, S.; AGGELIS, G. Sources of microbial oils with emphasis to mortierella (umbelopsis) isabellina fungus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Springer, v. 35, p. 1–19, 2019.

PEI, K. et al. A new variety of mucor variosporus and the validation of m. luteus linnemann and m. variosporus schipper. *Mycosystem*, Science Press, v. 19, n. 1, p. 10–12, 2000.

PELE, M. A.; RIBEAUX, D. R.; VIEIRA, E. R.; SOUZA, A. F.; LUNA, M. A.; RODRÍGUEZ, D. M.; ANDRADE, R. F.; ALVIANO, D. S.; ALVIANO, C. S.; BARRETO-BERGTER, E. et al. Conversion of renewable substrates for biosurfactant production by rhizopus arrhizus ucp 1607 and enhancing the removal of diesel oil from marine soil. *Electronic Journal of Biotechnology*, Elsevier, v. 38, p. 40–48, 2019.

PERONI, N.; MALVA, I. *Ecologia de populações e comunidades*. [S.l.]: UFSC, 2011.

PEYRONEL, B.; VESCO, G. D. Ricerche sulla microflora di un terreno agrario presso torino. *Allionia*, v. 2, p. 357–417, 1955.

PIDOPLICHKO, N. M.; MIL'KO, A. A. Atlas of the mucorales. In: . [s.n.], 1971. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132057908>>.

QUIROZ, N.; VILLANUEVA, J. del P.; LOZANO, E. A. Mucormicosis. *Revista de la Asociación Colombiana de Dermatología y Cirugía Dermatológica*, v. 25, n. 4, p. 284–293, 2017.

RIBALDI, M. Sopra un interessante zigomicete terricola: Gongronella urceolifera n. gen., n. sp. *Riv. Biol. Gen.*, NS, v. 44, p. 157–166, 1952.

RONQUIST, F.; HUELSENBECK, J. P. Mrbayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics*, Oxford University Press, v. 19, n. 12, p. 1572–1574, 2003.

RU-YONG, Z.; GUI-QING, C. monograph of cunninghamella. *Mycotaxon*, v. 80, 2001.

SALES, P. S. C. d. et al. Produção de lipase por amostras de cunninghamella echinulata (ucp 1308) em meios contendo resíduos agroindustriais. Universidade Católica de Pernambuco, 2018.

- SANTIAGO, A. L. C. M. d. A.; MOTTA, C. M. d. S. Isolation of mucorales from processed maize (*zea mays* L.) and screening for protease activity. *Brazilian Journal of Microbiology*, SciELO Brasil, v. 39, p. 698–700, 2008.
- SANTIAGO, A. L. C. M. d. A.; SANTOS, P. J. P. d.; MAIA, L. C. Mucorales from the semiarid of pernambuco, brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, SciELO Brasil, v. 44, p. 299–305, 2013.
- SANTIAGO, A. L. C. M. d. A.; TRUFEM, S. F. B.; MALOSSO, E.; SANTOS, P. J. P. d.; CAVALCANTI, M. A. d. Q. Zygomycetes from herbivore dung in the ecological reserve of dois irmãos, northeast brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, SciELO Brasil, v. 42, p. 89–95, 2011.
- SANTIAGO, A. L. C. M. de A.; MAIA, L. C. Two new records of mucorales from the brazilian semi-arid region. *Mycotaxon*, v. 114, n. 1, p. 171–177, 2011.
- SANTOS, A. M. M.; CAVALCANTI, D. R.; SILVA, J. M. C. d.; TABARELLI, M. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern brazil. *Journal of biogeography*, Wiley Online Library, v. 34, n. 3, p. 437–446, 2007.
- SANTOS, F. R.; GARCIA, N. F. L.; PAZ, M. F. da; FONSECA, G. G.; LEITE, R. S. R. Production and characterization of β -glucosidase from *Gongronella butleri* by solid-state fermentation. *African Journal of Biotechnology*, v. 15, n. 16, p. 633–641, 2016.
- SCHIPPER, M. A. A. A study on variability in *Mucor hiemalis* and related species. Centraalbureau voor Schimmelcultures, 1973.
- SCHIPPER, M. A. A. On *Mucor mucedo*, *Mucor flavus* and related species. 1975.
- SCHIPPER, M. A. A. On *Mucor circinelloides*, *Mucor racemosus* and related species. Centraalbureau voor Schimmelcultures Baarn, The Netherlands, 1976.
- SCHIPPER, M. A. A. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. 1978.
- SCHIPPER, M. A. A. On the genera *Rhizomucor* and *Parasitella*. *Studies in mycology*, v. 17, p. 53–71, 1978.
- SCHIPPER, M. A. A. A revision of the genus *Rhizopus*. i. the *Rhizopus stolonifer*-group and *Rhizopus oryzae*. 1984.
- SCHIPPER, M. A. A.; SAMSON, R. A.; STALPERS, J. A. Zygosporangium ornamentation in the genera *Mucor* and *Zygorhynchus*. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, v. 8, n. 3, p. 321–328, 1975.
- SCHIPPER, M. A. A.; STALPERS, J. A. A revision of the genus *Rhizopus*. ii. the *Rhizopus microsporus*-group. 1984.
- SCHMITT, I.; CRESPO, A.; DIVAKAR, P. K.; FANKHAUSER, J. D.; HERMAN-SACKETT, E.; KALB, K.; NELSEN, M. P.; NELSON, N. A.; RIVAS-PLATA, E.; SHIMP, A. D. et al. New primers for promising single-copy genes in fungal phylogenetics and systematics. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, Naturalis Biodiversity Center, v. 23, n. 1, p. 35–40, 2009.
- SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; BARROS, F. d. *Neste fascículo*. [S.l.]: SciELO Brasil, 2006.

- SILVA, P. C. G. d.; MOURA, M. S. B. d.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. d. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. d. C.; CUNHA, T. J. F.; FILHO, C. G. *Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos*. [S.l.]: ALICE, 2010.
- SINGH, S.; PAL, N.; CHANDER, J.; SARDANA, R.; MAHAJAN, B.; JOSEPH, N.; CHAKRABARTI, A.; RUDRAMURTHY, S. M.; HARIPRASATH, P.; PAUL, S. et al. Mucormycosis caused by syncephalastrum spp.: clinical profile, molecular characterization, antifungal susceptibility and review of literature. *Clinical Infection in Practice*, Elsevier, v. 11, p. 100074, 2021.
- SOBRINHO, J. V. Os brejos de altitude e as matas serranas. *As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife*, p. 79–86, 1971.
- SOUZA, C. A. F. de. *Diversidade de Mucoromyceta em Brejos de Altitude de Pernambuco, Brasil, e Avaliação de espécimes produtores de proteases coagulantes do leite*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2019.
- SOUZA, C. A. F. de; LIMA, D. X.; COSTA, D. P. da; LIMA, C. L. F. de; MEDEIROS, É. V. de; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. *Mucor variicolumellatus* l. wagner & g. walther (mucorales, mucoromycota): a first record for the neotropics. *Check List*, v. 16, p. 743–747, 2020. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225696765>>.
- SOUZA, C. A. F. de; VOIGT, K.; GURGEL, L.; CORDEIRO, T. R. L.; OLIVEIRA, R. J. V. de; LIMA, D. X.; SANTIAGO, A. L. C. M. de A. A new species of mucor (mucoromycotina, mucorales) isolated from an enclave of upland atlantic forest in the semi-arid region of brazil. *Phytotaxa*, 2018. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91116631>>.
- SOUZA, J. I. d.; PIRES-ZOTTARELLI, C. L. A.; SANTOS, J. F. d.; COSTA, J. P. Zygomycetes from “reserva biológica de mogi guaçu”, são paulo state, brazil. *Mycotaxon.*, v. 116, p. 303–312, 2011. ISSN 0093-4666. Disponível em: <<http://europepmc.org/abstract/AGR/IND44619366>>.
- SOUZA, J. I. de; MARANO, A. V.; PIRES-ZOTTARELLI, C. L. A.; CHAMBERGO, F. S.; HARAKAVA, R. A new species of backusella (mucorales) from a cerrado reserve in southeast brazil. *Mycological Progress*, v. 13, p. 975–980, 2014. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:18374496>>.
- SPATAFORA, J. W.; CHANG, Y.; BENNY, G. L.; LAZARUS, K.; SMITH, M. E.; BERBEE, M. L.; BONITO, G.; CORRADI, N.; GRIGORIEV, I.; GRYGANSKYI, A. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Mycologia*, Taylor & Francis, v. 108, n. 5, p. 1028–1046, 2016.
- SPECIES Fungorum. Disponível em: <www.speciesfungorum.org>. Acesso em: 12 jan. 2021.
- SPEHN, E. M.; RUDMANN-MAURER, K.; KÖRNER, C.; MASELLI, D. *Mountain biodiversity and global change*. [S.l.]: Global Mountain Biodiversity Assessment, 2010.
- SUWANNARACH, N.; KUMLA, J.; SUPO, C.; HONDA, Y.; NAKAZAWA, T.; KHANONGNUCH, C.; WONGPUTTISIN, P. *Cunninghamella saiamornae* (cunninghamellaceae, mucorales), a new soil fungus from northern thailand. *Phytotaxa*, v. 509, n. 3, p. 291–300, 2021.

- TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba, História Natural, Ecologia e Conservação*, Ministério do Meio Ambiente Brasília, v. 9, p. 17–24, 2004.
- TEDERSOO, L.; SÁNCHEZ-RAMÍREZ, S.; KOLJALG, U.; BAHAM, M.; DÖRING, M.; SCHIGEL, D.; MAY, T.; RYBERG, M.; ABARENKOV, K. High-level classification of the fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal diversity*, Springer, v. 90, p. 135–159, 2018.
- TIBPROMMA, S.; HYDE, K. D.; JEEWON, R.; MAHARACHCHIKUMBURA, S. S. N.; LIU, J.-K.; BHAT, D. J.; JONES, E. B. G.; MCKENZIE, E. H. C.; CAMPORESI, E.; BULGAKOV, T. S. et al. Fungal diversity notes 491–602: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. *Fungal diversity*, Springer, v. 83, p. 1–261, 2017.
- TRUFEM, S. F. B. Mucorales do estado de são paulo. 3. gêneros *circinella* van tieghem & le monnier e *cunninghamella* matruchot. *Rickia*, v. 9, 1981.
- TRUFEM, S. F. B. Filo zygomycota (capítulo v). In: *Gusmão, L. F. P.; Maia, L. C.; (Org.). Diversidade e caracterização dos fungos do Semi-árido Brasileiro*. [S.l.]: Associação Plantas do Nordeste-APNE, 2006.
- UPADHYAY, H. P. Soil fungi from north-east and north brazil—viii. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, v. 6, n. 1, p. 111–117, 1970.
- URQUHART, A.; DOUCH, J.; HEAFIELD, T.; BUDDIE, A.; IDNURM, A. Diversity of backusella (mucoromycotina) in south-eastern australia revealed through polyphasic taxonomy. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, Naturalis Biodiversity Center, v. 46, n. 1, p. 1–25, 2021.
- URQUHART, A. S.; IDNURM, A. Absidia healeyae: A new species of absidia (mucorales) isolated from victoria, australia. *Mycoscience*, The Mycological Society of Japan, v. 62, n. 5, p. 331–335, 2021.
- VAN TIEGHEM, P. Troisième mémoire sur les mucorinées. *Ann. Sci. Nat. Bot., Sér. 6*, v. 4, p. 312–398, 1876.
- VAN TIEGHEM, P.; G., L. M. Recherches sur les mucorinées. *Ann. Sci. Nat.*, v. 17, p. 261–399, 1873.
- VAN TIEGHEM, P. É. L. *Nouvelles recherches sur les Mucorinées*. [S.l.]: G. Masson, 1875.
- VIEIRA, L. C. *Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em um gradiente de altitude na Chapada da Diamantina, Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- VOGLMAYR, H.; CLÉMENÇON, H. Identification and taxonomic position of two mucoralean endoparasites of hysteroangium (basidiomycota) based on molecular and morphological data. *Mycological progress*, Springer, v. 15, p. 1–17, 2016.
- VOIGT, K. Zygomycota moreau. In: *Frey W (ed) Syllabus of Plant Families - A. Engler's Syllabus Der Pflanzenfamilien Part 2/1: Photoautotrophic Eukaryotic Algae: Glaucocystophyta, Cryptophyta, Dinophyta/Dinzoa, Haptophyta, Heterokontophyta/Ochrophyta, Chlorarachniophyta/Cercozoa, Euglenophyta/Euglenozoa, Chlorophyta, Streptophyta P. P.* [S.l.]: Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2012. ISBN 9783443010836.

- VOIGT, K.; WÖSTEMEYER, J. Phylogeny and origin of 82 zygomycetes from all 54 genera of the mucorales and mortierellales based on combined analysis of actin and translation elongation factor ef-1 α genes. *Gene*, Elsevier, v. 270, n. 1-2, p. 113–120, 2001.
- WAGNER, L.; HOOG, S. de; ALASTRUEY-IZQUIERDO, A.; VOIGT, K.; KURZAI, O.; WALTHER, G. A revised species concept for opportunistic mucor species reveals species-specific antifungal susceptibility profiles. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Am Soc Microbiol, v. 63, n. 8, p. 10–1128, 2019.
- WAGNER, L.; STIELOW, J.; HOOG, G. de; BENSCH, K.; SCHWARTZE, V.; VOIGT, K.; ALASTRUEY-IZQUIERDO, A.; KURZAI, O.; WALTHER, G. A new species concept for the clinically relevant mucor circinelloides complex. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, Naturalis Biodiversity Center, v. 44, n. 1, p. 67–97, 2020.
- WAINAINA, S.; KISWORINI, A. D.; FANANI, M.; WIKANDARI, R.; MILLATI, R.; NIKLASSON, C.; TAHERZADEH, M. J. Utilization of food waste-derived volatile fatty acids for production of edible rhizopus oligosporus fungal biomass. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 310, p. 123444, 2020.
- WALTHER, G.; PAWŁOWSKA, J.; ALASTRUEY-IZQUIERDO, A.; WRZOSEK, M.; RODRIGUEZ-TUDELA, J. L.; DOLATABADI, S.; CHAKRABARTI, A.; HOOG, G. S. D. Dna barcoding in mucorales: an inventory of biodiversity. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, Naturalis Biodiversity Center, v. 30, n. 1, p. 11–47, 2013.
- WANG, Y.-N.; LIU, X.-Y.; ZHENG, R.-Y. Umbelopsis changbaiensis sp. nov. from china and the typification of mortierella vinacea. *Mycological progress*, Springer, v. 13, p. 657–669, 2014.
- WHITE, T. J.; BRUNS, T.; LEE, S. J. W. T.; TAYLOR, J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal rna genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, San Diego, v. 18, n. 1, p. 315–322, 1990.
- WIJAYAWARDENE, N. N.; HYDE, K. D.; AL-ANI, L. K. T.; TEDERSOO, L.; HAELEWATERS, D.; RAJESHKUMAR, K. C.; ZHAO, R. L.; APTROOT, A.; LEONTYEV, D. V.; SAXENA, R. et al. Outline of fungi and fungus-like taxa. *Mycosphere Online: Journal of Fungal Biology*, Mushroom Research Foundation, v. 11, n. 1, p. 1060–1456, 2020.
- WIJAYAWARDENE, N. N.; PAWŁOWSKA, J.; LETCHER, P. M.; KIRK, P. M.; HUMBER, R. A.; SCHÜSSLER, A.; WRZOSEK, M.; MUSZEWSKA, A.; OKRASIŃSKA, A.; ISTEŁ, Ł. et al. Notes for genera: Basal clades of fungi (including aphelidiomycota, basidiobolomycota, blastocladiomycota, calcarisporiellomycota, caulochytridiomycota, chytridiomycota, entomophthoromycota, glomeromycota, kickxellomycota, monoblepharomycota, mortierellomycota, mucoromycota, neocallimastigomycota, olpidiomycota, rozellomycota and zoopagomycota). *Fungal diversity*, Springer, v. 92, p. 43–129, 2018.
- XIAO, L.; HE, H.; RU, Z. Relationships within cunninghamella based on sequence analysis of its rdna. 2001.
- YIP, H.-Y. Umbelopsis fusiformis sp. nov. from a wet sclerophyll forest and a new combination for mortierella ovata. *Transactions of the British Mycological Society*, Elsevier, v. 86, n. 2, p. 334–337, 1986.

ZHANG, T.-Y.; YU, Y.; ZHU, H.; YANG, S.-Z.; YANG, T.-M.; ZHANG, M.-y.; ZHANG, Y.-X. *Absidia panacisoli* sp. nov., isolated from rhizosphere of panax notoginseng. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, Microbiology Society, v. 68, n. 8, p. 2468–2472, 2018.

ZHAO, H.; ZHU, J.; ZONG, T.-K.; LIU, X.-L.; REN, L.-Y.; LIN, Q.; QIAO, M.; NIE, Y.; ZHANG, Z.-D.; LIU, X.-Y. Two new species in the family cunninghamellaceae from china. *Mycobiology*, Taylor & Francis, v. 49, n. 2, p. 142–150, 2021.

ZHAO, W.; REICH, P. B.; YU, Q.; ZHAO, N.; YIN, C.; ZHAO, C.; LI, D.; HU, J.; LI, T.; YIN, H. et al. Shrub type dominates the vertical distribution of leaf c: N: P stoichiometry across an extensive altitudinal gradient. *Biogeosciences*, Copernicus Publications Göttingen, Germany, v. 15, n. 7, p. 2033–2053, 2018.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q.; HU, F. M. *Monosporus* varieties of *syncephalastrum*. *Mycosystema*, v. 1, p. 35–52, 1988.

ZHENG, R.-y.; CHEN, G.-q.; HUANG, H.; LIU, X.-y. A monograph of *rhizopus*. *SYDOWIA-HORN-*, VERLAG FERDINAND BERGER, v. 59, n. 2, p. 273, 2007.

ZONG, T.-K.; ZHAO, H.; LIU, X.-L.; REN, L.-Y.; ZHAO, C.-L.; LIU, X.-Y. Taxonomy and phylogeny of four new species in *absidia* (cunninghamellaceae, mucorales) from china. *Frontiers in Microbiology*, Frontiers, v. 12, p. 677836, 2021.