



DIOGO XAVIER LIMA

**DIVERSIDADE DE MUCORALES DO SOLO E DE EXCREMENTOS DE
HERBÍVOROS DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU-PE, BRASIL**

**RECIFE
FEVEREIRO/2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS**

**DIVERSIDADE DE MUCORALES DO SOLO E DE EXCREMENTOS DE
HERBÍVOROS DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU-PE, BRASIL**

DIOGO XAVIER LIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos, Departamento de Micologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Fungos.

Área de Concentração: TAXONOMIA E ECOLOGIA DE FUNGOS

Orientador: Dra. CRISTINA MARIA DE SOUZA-MOTTA (UFPE)

Co-orientador: Dr. ANDRÉ LUIZ C. M. DE A. SANTIAGO (UFRPE/UAST)

RECIFE

FEV/2014

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário Bruno Márcio Gouveia, CRB-4/1788

Lima, Diogo Xavier

Diversidade de mucorales do solo e de excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau – PE, Brasil / Diogo Xavier Lima. – Recife: O Autor, 2014.

61 f.: il.

Orientadores: Cristina Maria de Souza-Motta, Santiago, Andre Luiz C. M. de A. Santiago

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia de Fungos, 2014.

Inclui referências

1. Fungos 2. Ecologia 3. Biologia – Classificação I. Souza-Motta, Cristina Maria de (orient.) II. Santiago, Andre Luiz C. M. de A III. Título.

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB-2017-043

**DIVERSIDADE DE MUCORALES DO SOLO E DE EXCREMENTOS DE
HERBÍVOROS DO PARQUE NACIONAL DO CATIMBAU-PE, BRASIL**

DIOGO XAVIER LIMA

APROVADO

Data da defesa: 24/02/2014

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dra. Cristina Maria de Souza Motta (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Jose Luiz Bezerra
Universidade Federal Do Reconcavo Baiano

Dra. Marília de Holanda Cavalcanti Maciel
Universidade Federal de Pernambuco

MEMBROS SUPLENTEs

Dra. Maria Auxiliadora de Queiroz Cavalcanti
Universidade Federal Do Reconcavo Baiano

Dr. José Ivanildo de Souza

Agradecimentos

A minha mãe, Maria Risalva Xavier, às minhas tias, Arabela e Josefa, ao meu tio Armando e ao meu irmão, Filipe Augusto, que investiram na minha formação, para que eu pudesse concluir todos meus objetivos.

A toda família Silveira Lins, que me acolheu e me proporcionou momentos de paz e alegria.

A minha orientadora Prof^a. Dra. Cristina Maria de Souza Motta, pela oportunidade e confiança durante todo o período de trabalho.

Ao amigo e co-orientador Prof. Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago, pela atenção, paciência e aprendizado na identificação dos Mucorales.

Ao Prof. Dr. Gladstone Silva, pelas análises das sequências dos espécimes.

Ao amigo Carlos Fragoso, pela edição das fotografias.

Aos amigos Leone, Ricardo e Victor que ajudaram na coleta do solo.

Aos amigos de laboratório Mayra, Rafael, Roger e Thaís, pelo apoio e pelos momentos de descontração do dia a dia.

Aos amigos e colegas de turma do mestrado: Dani, Ingrid, Juliana, Luiz, Natália, Pamella, Pedro, Renam e Sergio pela agradável convivência durante o curso.

Aos companheiros e amigos de departamento Aninha, Camila, Carla Lira, Cicero, Flávia, Jadson, Nylber, Moacir, Micheline, Danielle Karla, Felipe Warcthow, Marcelo, Nelson, Renata Gomes e Lidiane Roberta.

À coordenação e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos pelo apoio e ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

RESUMO

A ordem Mucorales é composta por fungos frequentemente isolados de solos e excrementos de herbívoros. Esses micro-organismos desempenham um papel importante nos ecossistemas, realizando a ciclagem de nutrientes. Trabalhos realizados em regiões do semiárido do Brasil reportaram apenas 20 espécies de Mucorales, o que não reflete a real riqueza desses fungos no bioma Caatinga. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivos comparar a riqueza, diversidade, frequência e distribuição do grupo em solos de fitofisionomias naturais e antropizadas, e conhecer a riqueza e frequência deste grupo em excrementos de herbívoros no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil. Foram realizadas seis coletas de solo em três áreas naturais: carrasco, caatinga arenosa e vegetação de caatinga *stricto sensu* e em uma subárea antropizada, e seis coletas de excrementos de bovinos, caprinos e ovinos na última área. Foram observados 13 táxons de Mucorales no solo e 11 no excremento, distribuídos entre os gêneros *Absidia*, *Circinella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Pilobolus*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. A riqueza e diversidade dos Mucorales do solo variaram entre as fitofisionomias, enquanto a riqueza não variou entre os excrementos. *Syncephalastrum racemosum* e *Pilobolus kleinii* foram as espécies mais frequentes no solo e nos excrementos, respectivamente. O efeito antrópico na caatinga *stricto sensu* demonstra uma baixa riqueza e diversidade de Mucorales do solo. Seis espécies ocorreram pela primeira vez no bioma de Caatinga e uma nova espécie de *Absidia* está sendo descrita para ciência.

Palavras-chave: Mucoromycotina, ecologia, taxonomia, solo, excremento.

ABSTRACT

The Mucorales order is composed of fungi commonly isolated from soil and dung of herbivorous. These microorganisms play an important role in ecosystems, performing nutrient cycling. Work in the semiarid regions of Brazil reported only 20 species of Mucorales, which does not reflect the real richness of these fungi in the Caatinga biome. Thus, this study aimed to compare the richness, diversity, frequency and distribution of the group in soils of natural and disturbed vegetation types and the richness and frequency excrement of herbivores in Catimbau National Park Buíque - PE. Six samplings were performed at three natural areas: Carrasco, Caatinga sandy and vegetation of Caatinga *stricto sensu* and an anthropic subarea, and six collections of dung of bovine, goats and sheep in the latter area. 13 taxa of Mucorales in soil and 11 were observed in dung, distributed between genera: *Absidia*, *Circinella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Pilobolus*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. The richness and diversity of the Mucorales soil were distinct in the vegetation types, while richness was not different between the dungs. *Syncephalastrum racemosum* is more frequent in soil, while *Pilobolus kleinii* in dung. The anthropic effect on caatinga *stricto sensu* demonstrates a low richness and diversity of soil Mucorales. Six species first occurred in the Caatinga biome and a new species of *Absidia* was recorded for science.

Key-words: Mucoromycotina, ecology, taxonomy, soil, excrement.

Lista de abreviaturas

Sobs	Curva de contagem de espécies observadas.
Chao 1	Estimador com base no número de espécies raras.
Jackknife 1	Estimador baseado em espécies que só ocorrem em uma amostra.
Bootstrap	Estimador baseado na proporção de parcelas contendo cada espécie.

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 – Aspecto do carrasco no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.	26
Figura 2 – Aspecto da caatinga arenosa no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.	26
Figura 3 – Aspecto da caatinga stricto sensu nativa no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.	27
Figura 4 – Aspecto da caatinga stricto sensu antropizada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.	27
Figura 5 – Precipitação durante o período de coletas de solo no Parque Nacional do Catimbau.	28
Figura 6 – Precipitação durante o período de coletas de excrementos no Parque Nacional do Catimbau.	29
Figura 7 – Dendograma de Similaridade de Bray-Curtis entre as áreas com fitofisionomias de caatinga <i>strico sensu</i> nativa (CAN), caatinga <i>strico sensu</i> antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA)	35
Figura 8 - Estimador de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 das áreas de caatinga <i>strico sensu</i> nativa (A); de caatinga <i>strico sensu</i> antropizada (B); de carrasco (C) e de caatinga arenosa (D).	37
Figura 9 – Dendograma de similaridade da composição de espécies entre os excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau, Buíque- PE.	40
Figura 10 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. Esporóforos: A - <i>Cunninghamella echinulata</i> ; B - <i>C. elegans</i> ; C - <i>Circinella muscae</i> ; D - <i>Syncephalastrum racemosum</i> .	42
Figura 11 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. Esporóforos: A - <i>Lichtheimia brasiliensis</i> ; A - Esporóforos; <i>L. ramosa</i> : B - Esporóforos; <i>L. hyalospora</i> : C – Esporóforos; D – Células gigantes.	42
Figura 12 – <i>Absidia</i> do Parque Nacional do Catimbau. <i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i> : A - esporagiósporos cilíndricos; B - esporóforo portando columela com projeção; C - esporóforos em cacho. <i>Absidia</i> sp.: D - esporagiósporos cilíndricos; E – esporóforo portando columela com projeção; F - esporóforos surgindo em dois ramos.	43
Figura 13 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. Esporóforos: A – <i>Rhizopus microsporus</i> ; B - <i>R. arrhizus</i> ; C - <i>Mucor hiemalis</i> . D - <i>Circinella muscae</i> .	43
Figura 14 - <i>Pilobolus</i> de excremento de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau. <i>Pilobolus lentiger</i> : A - columela cilíndrica a levemente constricta; B - esporagiósporos globosos. <i>Pilobolus crystallinus</i> : C - columela mamiforme; D - esporagiósporos elipisóides.	44
Figura 15 - <i>Pilobolus</i> de excremento de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau. <i>Pilobolus kleinii</i> : A - esporagiósporos elipisóides amarelos; B - trofocisto ovóide-subgloboso. <i>Pilobolus longipes</i> : C - esporagiósporos; subglobosos para ovóides D - trofocisto longo.	45
Figura 16 - Árvore filogenética de <i>Absidia</i> gerada a partir de sequências da região ITS do rDNA. <i>Actinomucor elegans</i> e <i>Circinella minor</i> foram utilizadas como grupo externo. Valores de suporte são de análise bayesiana (números acima dos ramos). O número de acesso do GenBank está seguido do nome das sequências de espécies utilizadas. As sequências correspondentes aos dois clones de <i>Absidia</i> sp. estão em negrito.	46

Lista de tabelas

	Pág.
Tabela 1- Plantas consumidas pelos animais do Parque Nacional do Catimbau.	25
Tabela 2- Valores totais de unidades formadoras de colônias (UFC) de Mucorales por grama de solo isolados de solos de caatinga strico sensu nativa (CAN); caatinga strico sensu antropizada (ANT); carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) no Parque Nacional do Catimbau.	33
Tabela 3- Número de unidades formadoras de colônia por grama de solo dos Mucorales isolados de solos do Parque Nacional do Catimbau.	34
Tabela 4- Frequência de ocorrência (Fi) e Distribuição (Di) de Mucorales isolados de solos do Parque Nacional do Catimbau.	35
Tabela 5- Análise de similaridade de Bray-Curtis da composição de Mucorales entre as áreas de caatinga strico sensu nativa (CAN), caatinga strico sensu antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) do Parque Nacional do Catimbau, Buíque- PE.	35
Tabela 6 - Índice de diversidade de Shannon Wienerd (H') de Mucorales isolados de solos coletados em áreas com fitofisionomia de caatingas <i>strico sensu</i> nativa (CAN) e antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA).	36
Tabela 7 - Mucorales em excrementos boi, cabra e ovelha do município de Buíque, PE	39
Tabela 8 - Análise de similaridade da composição de espécies entre os excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau, Buíque - PE.	40

SUMÁRIO

Pág.

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1. Mucoromycotina Benny.....	13
2.2. Mucorales Schröter.....	14
2.3. Mucorales isolados de solo.....	16
2.4. Mucorales isolados de solo do semiárido.....	18
2.5. Mucorales isolados de excrementos.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. Áreas de estudo.....	24
3.2. Coleta dos substratos.....	28
3.2.1. Coleta do Solo	28
3.2.2. Coleta do Excremento	29
3.3. Isolamento e identificação dos Mucoromycotina.....	30
3.4. Frequência de Ocorrência.....	30
3.5 Distribuição dos Mucorales.....	31
3.6. Diversidade dos Mucorales.....	31
3.7. Análise estatística	31
3.8. Extração de DNA, amplificação e sequenciamento.....	32
4. RESULTADOS	33
4.1. Mucorales do solo.....	33
4.1.2. Chave taxonômica de Mucorales presentes no solo Parque Nacional do Catimbau.....	38
4.2. Mucorales do excremento.....	39
4.2.1 Chave taxonômica de Mucorales presentes nos excrementos do Parque Nacional do Catimbau.....	41
4.3. Análise Molecular de <i>Absidia</i> sp.....	46
5. DISCUSSÃO	47
5.1. Mucorales de solos do Parque Nacional do Catimbau.....	47
5.2. Mucorales de excrementos do Parque Nacional do Catimbau.....	50
6. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O subfilo Mucoromycotina (Hibbett *et al.*, 2007) comporta fungos caracterizados pela produção do zigósporo, estrutura de resistência de origem sexuada, formada pela fusão de dois gametângios, iguais ou desiguais. Os zigósporos são normalmente escuros, com cores variando de marrom claro a preto, podendo ser lisos ou ornamentados (Kendrick, 2000). Esse grupo de fungos apresenta características morfológicas variadas, como a presença de hifas cenocíticas, contendo septos apenas na base das estruturas de reprodução, ou septos espaçados de forma irregular, além de produzirem estruturas assexuadas, como esporângios, esporangiósporos, esporangióolos, merosporângios e merósporos. Dentre os Mucoromycotina, a ordem Mucorales possui um maior número de representantes podendo ser isolados de diversos substratos, como solos, excrementos e vegetais (White *et al.*, 2006). Varias espécies desse grupo possuem potencial biotecnológico, com capacidade de produzir enzimas e ácidos orgânicos (Cordeiro Neto *et al.*, 1997, Santiago & Souza-Motta, 2006). Esse aparato enzimático faz de muitas espécies dessa ordem excelentes competidoras, em comparação com os demais fungos. A maioria dos Mucorales apresenta rápido crescimento, mesmo em meios de cultura simples, sendo os primeiros a colonizarem os substratos, degradando os açúcares menos complexos (Richardson, 2009).

Os fungos, incluindo os Mucorales, são os mais abundantes dentre os micro-organismos que habitam o solo (Bills *et al.*, 2004), influenciando outros organismos e sendo influenciados pelos fatores físicos e químicos do ambiente (Dix & Webster, 1995; Maia, 1998). Esses micro-organismos desempenham importante papel no solo, pois decompõem a matéria orgânica presente, realizando a ciclagem de nutrientes e os disponibilizando para outros organismos, como as plantas (Hill *et al.*, 2000). A estimativa da diversidade fúngica nos solos depende da metodologia aplicada, das características bióticas e abióticas desse substrato (Gams, 2007). No entanto, estima-se que existam cerca de 7000 espécies de fungos típicas desse substrato (Bridge & Spooner, 2001). Os Mucorales também são comumente encontrados em excrementos de animais, em diferentes biomas e com variadas condições de temperatura e umidade, onde desempenham um papel importante na ciclagem dos nutrientes, podendo ser coprófilos obrigatórios ou facultativos (Santiago *et al.*, 2011).

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que comporta várias espécies endêmicas, possuindo uma grande biodiversidade e exibindo fitofisionomias heterogêneas ao longo de seu território, que se estende por grande parte do nordeste brasileiro, abrangendo os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Drumond *et al.*, 2002). Apresenta vegetação xerófila, com diversas composições florísticas e variadas fisionomias (Andrade-Lima, 1981). O bioma caracteriza-se por apresentar temperaturas médias

anuais elevadas, baixas precipitações e umidades relativas. O solo das regiões de Caatinga é predominantemente argiloso, formado em um microambiente ácido pela influência climática e por processos de lixiviação, sendo denominado de vertissolo (Prado, 2003).

O Parque Nacional do Catimbau está inserido no semiárido, em uma área de transição entre o agreste e sertão de Pernambuco, sendo uma das principais áreas de proteção integral do Bioma Caatinga (Jesus *et al.*, 2008). Segundo Rodal *et al.*, (1998), a caatinga *strictu sensu* e o carrasco são fitofisionomias reconhecidas dentro do parque, representando os principais tipos característicos do semiárido (Lemos & Rodal, 2002). Trabalhos realizados em regiões do semiárido do nordeste do Brasil reportaram apenas 20 espécies de Mucorales, o que não reflete a real diversidade do grupo nesse Bioma (Santiago & de Souza, 2013). Considerando a importância biotecnológica e ecológica dos Mucorales e sabendo-se que apenas 1,5% das espécies do grupo são conhecidas (Kirk *et al.*, 2008; Blackwell, 2011), esse trabalho visa conhecer a diversidade dos Mucorales em solos e em excrementos de herbívoros em ecossistemas da Caatinga de Pernambuco, reduzindo a visão limitada que se tem da real distribuição do grupo no semiárido do nordeste do Brasil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mucoromycotina Benny

Mucoromycotina é um dos 4 subfilos de sede incerta proposto Hibbett *et al.* (2007) a partir do filo Zygomycota, após constatação de que o grupo é polifilético (James *et al.*, 2006). Representantes desse subfilo são caracterizados por produzirem zigosporângio e zigósporo (Kendrick, 2000), sendo esse último um esporo sexual, liso ou rugoso, geralmente escuro e que pode permanecer em estado latente por longos períodos, germinando em condições favoráveis (Benny *et al.*, 2001). A reprodução assexuada ocorre pela produção de esporangióforos, a partir de hifas férteis que originarão esporos formados no interior de esporângios, esporangíolos ou merosporângios (Benjamin, 1979). Essa reprodução também pode ocorrer através da fragmentação da hifa, pela formação de clamidósporos, ou por gemação, essa última nos indivíduos dimórficos que formam células leveduriformes (Alexopoulos *et al.*, 1996). A partenogênese é uma forma rara de reprodução assexuada que pode ocorrer em algumas espécies, em que os gametângios envolvidos não se unem na copulação, iniciando a formação de um azigósporo, esporo morfologicamente idêntico ao zigósporo, porém com metade do seu tamanho (Benjamin & Mehrotra, 1963). O subfilo também apresenta outras características comuns, como a presença de micélio cenocítico, em que são observados septos apenas delimitando estruturas reprodutivas, ou em micélio mais velho (Alexopoulos *et al.*, 1996). A maioria dos Mucoromycotina apresenta micélio bem desenvolvido com coloração variando entre branco, amarelo, cinza, marrom, preto e laranja, geralmente de aspecto cotonoso, apresentando hifas com parede celular composta principalmente por quitina e quitosana (Alvarez, 2013).

Os Mucoromycotina são organismos ancestrais nos ecossistemas terrestres, e estima-se que o primeiro organismo do grupo tenha ocorrido no período Pré-Cambriano (Blair, 2009). Sendo filogeneticamente inseridos dentre as linhagens basais dos fungos, participaram da história evolutiva, adaptando-se e ocupando com sucesso seus habitats (Krings *et al.*, 2013). São fungos na maioria sapróbios, embora algumas espécies possam ser simbioses de plantas (micorrízicos) ou parasitas de animais, plantas e fungos (White *et al.*, 2006; Richardson, 2009). São capazes de crescer em diversos substratos, como solos, frutos, folhas, grãos e alimentos estocados, excrementos de animais e em insetos (Trufem *et al.*, 2006; Santiago *et al.*, 2008).

Os Mucoromycotina representam cerca de 1,5% dos fungos existentes, com, aproximadamente, 1000 espécies descritas (Kirk *et al.*, 2008; Blackwell, 2011). No entanto, estimativas apontam que existam cerca de 10.000 espécies a serem descobertas (Kirk *et al.*, 2001;

2008; Alvarez, 2013). O subfiló inicialmente proposto era composto por três ordens: Endogonales Moreau ex R. K. Benj., Mucorales Fr., e Mortierellales Caval.-Sm (Hibbett *et al.*, 2007). Endogonales abriga os fungos micorrízicos, enquanto os Mucorales os que possuem columela e são sapróbios e parasitas facultativos, e os Mortierellales comporta os fungos saprofíticos sem columela. Com base em análises filogenéticas multigênicas e morfológicas, Mortierellales foi removida de Mucoromycotina e o subfiló Mortierellomycotina Kerst. Hoffm., Kerst. Voigt & P. M. Kirk foi proposto (Hoffman *et al.*, 2011).

2.2 Mucorales Schröter

A ordem Mucorales é a maior dentro do subfiló Mucoromycotina, possuindo mais 300 espécies descritas (Hawksworth *et al.*, 1995). Inicialmente, possuía quatro famílias (van Tieghem, 1878), sendo outras adicionadas posteriormente por outros autores. Algumas das famílias acrescentadas tornaram-se ordens, como Dimartariales R. K. Benjamin, Endogonales, Kickxellales Kreisel ex R. K. Benjamin e Zoopagales Bessey ex R. K. Benjamin, enquanto outras famílias foram realocadas dentro dessas ordens por Benjamin (1979). Benny (2009) considerou apenas as famílias Mucoraceae Dumortier e Umbelopsidaceae W. Gams & W. Meyer. Todas as outras foram sinonimizadas com Mucoraceae. No entanto, análises filogenéticas sugeriram que muitas das famílias deveriam ser separadas de Mucoraceae, dentro ordem Mucorales (Voigt & Olsson, 2008; Voigt *et al.*, 2009). Atualmente, Mucorales possui 55 gêneros distribuídos em 14 famílias: Umbelopsidaceae; Lentamycetaceae K. Voigt & P.M. Kirk; Syncephalastraceae Naumov ex R.K. Benj.; Lichtheimiaceae Kerst. Hoffm., G. Walther & K. Voigt; Phycomycetaceae Arx; Saksenaeaceae Hesselt. & J.J. Ellis; Radiomycetaceae Hesselt. & J.J. Ellis; Cunninghamellaceae Naumov ex R.K. Benj.; Backusellaceae K. Voigt & P.M. Kirk; Pilobolaceae Corda; Rhizopodaceae K. Voigt & P.M. Kirk; Choanephoraceae J. Schröt.; Mycotyphaceae Benny & R.K. Benj. e Mucoraceae (Benny *et al.*, 2009; Hoffmann *et al.*, 2013).

Os fungos pertencentes à ordem Mucorales são facilmente distintos dos outros fungos por apresentarem características marcantes, como o rápido crescimento micelial aéreo, produzindo estruturas assexuais em abundância, com exceção de *Umbelopsis* Amos & H.L. Barnett, que apresenta crescimento limitado (Benny *et al.*, 2001). O micélio de aspecto cotonoso apresenta hifas irregularmente septadas, que podem se diferenciar em rizóides, que atuam na fixação e absorção de nutrientes e em estolões, que dispersam suas estruturas reprodutivas, sendo estruturas taxonomicamente importantes (Kirk *et al.*, 2008). Os esporóforos são formados no micélio ou diretamente no substrato, podendo estar isolados ou agregados, ser eretos ou circinados, e possuir ramificações cimosas, racemosas, simpodiais ou monopodiais (Viriato, 2003). Os esporangiósoros

são produzidos em esporângios multi-esporados ou em suas variações morfológicas, como esporangióolos, que são esporângios pequenos com poucos esporos ou unisporados, ou em merosporângios, que são esporângios cilíndricos ou claviformes que portam merangiósoros (ou merósoros) dispostos em cadeia (Alvarez, 2013). A columela, estrutura presente no interior do esporângio, ou a vesícula, localizada na porção terminal dos esporangióforos, são estruturas presentes nos representantes dessa ordem (Hoffmann *et al.*, 2013). As columelas apresentam formas variadas, podendo ser clavadas, cônicas, esféricas, espatuladas, hemisféricas, obovóides, ovóides ou piriformes; podem ser lisas ou incrustadas, com ou sem projeções apicais (Ainsworth *et al.*, 1971; Benny *et al.*, 2001). Nos Mucorales, a reprodução sexuada é menos comum do que a assexuada e, em várias espécies, a presença do zigósporo ainda não foi reportada (O'Donnell *et al.*, 2001). Vários autores apontam a importância do zigosporângio na taxonomia, sendo a presença ou ausência dessa estrutura, bem como o tipo de ornamentação e a presença de apêndices na mesma, que surgem a partir das células suspensoras, importantes fatores a serem considerados para ajudar na identificação de alguns gêneros, como *Absidia* van Tieghem, *Lichtheimia* Vuill. e *Mycoclados* Beauverie (Hoffmann *et al.*, 2007). O dimorfismo é observado em algumas espécies de Mucorales, principalmente de *Mucor* Fresen., em que algumas espécies são capazes de alternar entre a forma filamentosa e a leveduriforme (Orlowski, 1991). A forma de levedura pode ocorrer sobre determinadas temperaturas e variações dos níveis de glicose no substrato e de oxigênio disponível (Bartnicki-Garcia, 1963).

Os Mucorales são organismos cosmopolitas, considerados oligotróficos ou mesotróficos, capazes de crescer em substratos pobres em nutrientes, sendo conhecidos como fungos do açúcar, por degradarem carboidratos simples, sendo os primeiros a colonizarem o substrato (Richardson, 2009). Possuem grande importância ecológica nos substratos em que vivem, decompondo matéria orgânica e iniciando o processo de sucessão ecológica. Possuem o solo como principal habitat, mas são capazes de colonizar diversos substratos de matéria orgânica animal ou vegetal, e excrementos de animais, sendo excelentes competidores, devido à capacidade de produzirem enzimas (Dix & Webster, 1995; Bills *et al.*, 2004; Richardson, 2009; Santiago & Cavalcanti, 2011). A maioria das espécies da ordem são mesofílicas, com ótimo crescimento e esporulação entre 20 e 30°C. Alguns gêneros, como *Lichtheimia*, *Rhizopus* Ehrenb. Rickia, *Rhizomucor* Lucet & Costantin e *Thermomucor* Subrahmanyam, B.S. Mehrotra & Thirum., são descritos como termofílicos ou termotolerantes (Santiago *et al.*, 2013b).

O rápido crescimento e a termotolerância facilitam as ações dos patógenos em outros organismos (Richardson, 2009). Muitas espécies de Mucorales, principalmente de *Lichtheimia*, são causadoras de mucormycosis, principalmente em indivíduos imunocomprometidos (Ribes *et al.*, 2000; Roden *et al.* 2005; Skiada *et al.* 2011; Hoffman *et al.*, 2013). Espécies como *Choanephora*

cucurbitarum (Berk. & Ravenel) Thaxt. e *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. são conhecidas por infectarem órgãos vivos de plantas, principalmente os frutos (Dennis, 1983), além de serem contaminantes de grãos e alimentos estocados (James & O'Donnell, 2004). Outras espécies podem ser encontradas parasitando outros fungos, sendo conhecidas como micoparasitas, como as de *Parasitella* (Partida-Martinez & Hertweck, 2005; Benny, 2009).

Os Mucorales também são utilizados de formas benéficas, sendo importantes para biotecnologia nas indústrias farmacêutica, têxtil e de alimentos. Várias enzimas, como amilase, inulinase, lipases e proteases são produzidas por Mucorales para uso industrial (Alves et al., 2005; Santiago & Souza-Motta, 2006). Espécies de *Rhizopus* são utilizadas em fermentados à base de arroz, produzidos na Ásia e conhecidos como Tempeh (Hesseltine, 1986; Nout & Kiers, 2005; Alvarez, 2013). Muitas espécies também são utilizadas na aplicação de licopenos e quitosana (Wu et al., 1999; Hoffman et al., 2013), na produção de ácidos orgânicos, como *Mucor* (Kavadia et al., 2001; Magnuson & Lasure, 2004), e utilizadas em processos de biorremediação (Yan & Viraraghavan, 2003; Zafar et al., 2007).

2.3 Mucorales isolados do solo

O solo é um substrato heterogêneo e complexo, formado por elementos inorgânico e orgânicos (Moreira & Siqueira, 2002), apresentando uma biota composta por micro-organismos variados, como algas, bactérias e fungos (Michereff et al., 2005), que participam da sustentabilidade e manutenção desse habitat. Dentre os micro-organismos que habitam o solo, os fungos são os mais abundantes (Bills et al., 2004), desempenhando um importante papel nesse substrato, decompondo a matéria orgânica e realizando a ciclagem de nutrientes, disponibilizando-os para os demais organismos (Hill et al., 2000). Como principal habitat dos fungos, inclusive dos Mucorales, diversos trabalhos foram realizados sobre o isolamento e identificação desse grupo de fungos nesse substrato.

Com a finalidade de investigar a influência do tipo de solo de restingas na comunidade de fungos filamentosos em Lakenheath Warren, Inglaterra, Warcup (1950) coletou solos em cinco profundidades diferentes e utilizou o método de plaqueamento direto para isolar os fungos. Foram isoladas 33 espécies de zygomycetes, sendo *Absidia*, *Mucor* e *Zygorhynchus* Vuillemin os gêneros mais frequentes. Poucas espécies, como *A. glauca* Hagem, *A. orchidis* Bainier (*A. caerulea* Bainier) e *M. lausannensis* Lendn., estiveram presentes na superfície do solo. A maioria dos táxons ficou distribuída entre 10 e 20 cm de profundidade, sendo *A. cylindrospora* Hagem a espécie mais abundante.

Em 1958, também na Inglaterra, Brown comparou a comunidade de fungos do solo em dois tipos extremos de dunas, de solos alcalinos e ácidos. O autor isolou *Absidia glauca*, *A. spinosa* Lendn., *Mucor hiemalis* Wehmer, *M. ramannianus* Möller, *Zygorhynchus vuilleminii* Namysl e verificou que há diferenças na comunidade dos Mucorales em diferentes concentrações hidrogênio (pH). *Mucor ramannianus* [*Umbelopsis ramanniana* (Möller) Arx] foi isolado apenas nas dunas ácidas, o que sugere a intolerância desta espécie aos ambientes alcalinos.

Resultados semelhantes foram citados no trabalho de Nováková (2001), no qual também foi estudada a comunidade de fungos de solo em diferentes estágios de uma floresta impactada no Parque Nacional de Sumava, Noruega. *Umbelopsis ramanniana* foi uma das espécies mais frequentes em solos ácidos, reforçando a ideia de que seja uma espécie acidófila.

Em trabalhos realizados no estado de São Paulo, Trufem (1981a,b,c) isolou e descreveu várias espécies de *Absidia*, *Circinella* van Tieghem & Le Monn., *Cunninghamella* Matruchot, *Gongronella* Ribaldi, *Mucor* e *Rhizopus*. Dentre as espécies descritas em seus trabalhos estão *A. cylindrospora*, *A. pseudocylindrospora* Hesselt.; J.J. Ellis, *A. repens* Tiegh., *A. spinosa* var. *biappendiculata* Rall; Solheim, *Circinella angarensis* (Schostak.) Zycha, *C. muscae* (Sorokīn) Berl.; De Toni, *C. rigida* G. Sm., *C. simplex* Tiegh., *C. bainieri* Naumov, *C. echinulata* (Thaxt.) Thaxt, *C. elegans* Lendn., *G. butleri* (Lendn.) Peyronel; Dal Vesco, *R. arrhizus* A. Fisch (como *R. oryzae*), *R. stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. (como *R. nigricans*), *M. corticolus* Hagem, *M. fuscus* Bainier, *M. fragilis* Bainier, *M. genevensis* Lendn., *M. heterosporus* A. Fisch., *M. hiemalis*, *M. mousanensis* Baijal & B.S. Mehrotra, *M. piriformis* A. Fisch, *M. rufescens* A. Fisch. e *M. suhagiensis* M.D. Mehrotra.

Em trabalho realizado na reserva ecológica Alto da Serra de Paranapiacaba, Santo André, São Paulo, Schoenlein-Crusius & Milanez (1997) observaram 13 táxons em folheto, solo e água. O gênero *Mucor* foi o mais frequente, sendo representado por quatro espécies e duas variedades, seguido por *Rhizopus* e *Zygorrhynchus*. *Mucor hiemalis* e *M. circinelloides* foram consideradas frequentes nos solos de Mata Atlântica. Estes autores reportaram pela primeira vez *M. silvaticus* Hagem (como *M. hiemalis* f. *silvaticus* (Hagem) Schipper), *R. arrhizus*, *R. oligosporus* Saito, *Z. japonicus* Komin e *Z. macrocarpus* Y. Ling para a Mata Atlântica. O solo foi o substrato que obteve um maior número de táxons.

Santos *et al.* (1998) estudaram a diversidade de fungos do solo em três áreas, uma floresta de Eucaliptos, uma mata de interseção e uma área remanescentes da Mata Atlântica, na Ilha dos Eucaliptos, na Represa de Guarapiranga em São Paulo. O estudo foi realizado em períodos climáticos diferentes, seco e chuvoso, no entanto a variação sazonal não influenciou na ocorrência das espécies. Foram reportados nove táxons de Mucorales, sendo *Cunninghamella phaeospora* Boedijn o táxon mais frequente.

Isoladas de solos de fazendas, jardins, estradas e florestas, *Blakeslea monospora* B.S. Mehrotra & Baijal e *B. trispora* Thaxt. foram reportadas como primeiras ocorrências para Taiwan (Ho & Chang 2003).

Trabalhos realizados em solos de praias reportaram uma baixa ocorrência de Mucorales nesses ecossistemas. Nas praias do Egito foram isoladas *Circinella simplex*, *Cunninghamella echinulata*, *Mucor racemosus* e *Syncephalastrum racemosum* (Fatma, 2003), enquanto nas praias de Casa Caiada e Bairro Novo, Pernambuco, Brasil, foram observadas apenas *Absidia cylindrospora* e *Cunninghamella elegans* (Gomes *et al.*, 2008).

Schoenlein-Crusius *et al.* (2006) obtiveram elevada diversidade de Mucorales de solo e de folheto de Mata Atlântica, em Cubatão, São Paulo, reportando 40 táxons entre 1993 e 1995. *Mucor amphibiorum* Schipper, *M. prayagensis* Mehrotra & Nand ex Schipper e *Parasitella parasitica* (Bain.) Syd. foram relatadas como primeiras ocorrências para o Brasil.

Em trabalhos realizados em plantação de *Hovenia dulcis* Tumb (uva-do-Japão) e em solos de sistemas agroflorestais de citrus, na região de Roca Sales, Rio Grande do Sul, Brasil, foram isoladas *Absidia spinosa*, *Rhizopus stolonifer*, *Lichtheimia ramosa* (Zopf) Vuill. (como *A. ramosa*) e *Zygorhynchus moelleri* (Prade *et al.* 2006; 2007).

Souza *et al.* (2008) isolaram e descreveram 13 espécies de Mucorales de solos contaminados por metais tóxicos em Santa Gertrudes, São Paulo, Brasil: *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Cunninghamella phaeospora*, *Mucor bainieri* B. S. Mehrotra & Baijal, *M. circinelloides* (como *M. circinelloides* f. *circinelloides* e *M. circinelloides* f. *Janssenii*), *M. hiemalis* (como *M. hiemalis* f. *hiemalis*), *M. lusitanicus* Bruderl. [como *M. circinelloides* f. *lusitanicus* (Bruderlein) Schipper], *M. luteus* [como *M. hiemalis* f. *luteus* (Linnem.) Schipper], *M. racemosus* f. *racemosus* Fresen., *Rhizopus arrhizus* (como *R. oryzae*) e *Zygorhynchus moelleri*. Neste trabalho foi reportada a primeira ocorrência de *M. bainieri* para o Brasil.

Souza *et al.* (2011), realizando estudo sobre a diversidade de Mucorales na Reserva Biológica de Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil, descreveram e ilustraram cinco táxons: *Absidia spinosa* var. *spinosa* Lendn, *Backusella lamprospora* (Lendn.) Benny & R. K. Benjamin, *Circinella simplex*, *Conidiobolus coronatus* e *Rhizopus stolonifer* var. *stolonifer* (Costantin) A. Batko.

2.4 Mucorales isolados de solos do semiárido

O semiárido é caracterizado por apresentar elevadas temperaturas e baixos níveis de precipitação (250 e 1000 mm/ano), com períodos de 7 a 10 meses de estação seca (Silva *et al.*, 2003). Dentro do domínio climático está inserida a Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro

composto por sistemas fitofisionômicos heterogêneos, com uma vegetação caracteristicamente xerofítica, variando desde arbórea a arbustiva (Andrade-Lima, 1981). O bioma abrange boa parte do nordeste brasileiro, estando inserido nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e em uma parte de Minas Gerais (Drumond *et al.*, 2002). A Caatinga abriga uma grande variedade de flora e fauna, assim como uma grande biodiversidade de fungos (Gusmão *et al.* 2006). Segundo Tabarelli *et al.* (2000), 41,1% das áreas de Caatinga ainda não foram amostradas e, por isso, estudos vêm sendo realizados para descrever a diversidade de Mucoromycotina nessas regiões.

Em um check list de fungos presentes em regiões do semiárido africano, entre 1940 e 2000, apenas *Actinomucor elegans* (Eidam) C.R. Benj. & Hesselt. foi reportada para a ordem Mucorales (Mouchacca, 2005).

Calvacanti *et al.* (2006), objetivando estimar a riqueza de fungos em solos da região do Xingó isolaram sete táxons de Mucorales: *Absidia cylindrospora*, *Cunninghamella elegans* Lendner, *Gongronella butleri*, *Lichtheimia corymbifera* (Cohn) Vuill (como *A. corymbifera*), *L. ramosa* (Zopf) Vuill (como *A. ramosa*), *Rhizopus arrhizus* (como *R. oryzae*) e *R. microsporus* Tiegh.

Trabalhando em áreas impactadas pela mineração de cobre no município de Jaguari, Bahia, Brasil, e com a finalidade de descrever e comparar espécies de Mucorales presentes no solo, Santiago & Souza-Motta (2006) obtiveram seis espécies: *Lichtheimia hyalospora* (Saito) (como *A. hyalospora* e *A. blakesleeana* Lendn.), *Absidia cylindrospora*, *Cunninghamella elegans*, *Rhizopus microsporus*, *R. arrhizus* (como *R. oryzae*) e *Syncephalastrum racemosum*. Os autores observaram que *R. arrhizus* esteve presente em todas as áreas, sugerindo que a espécie seja tolerante a ambientes impactados.

Rhizopus microsporus foi reportada nos trabalhos de Simões & Tauk-Tornisielo (2005) sobre o conhecimento e crescimento de fungos filamentosos de solo de Caatinga na Floresta Nacional Contentas do Sincorá, município de Ituaçu, Bahia, Brasil, e no trabalho de Coutinho *et al.* (2009), que verificou a presença de fungos filamentosos em solos cultivados com melão em área semiárida, na região do Vale do São Francisco, Petrolina, Brasil. Um ano após, Pereira *et al.* (2010) isolaram espécies de *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum* J. Schröt, visando conhecer a microbiota fúngica do solo na região da Borborema, Paraíba, Brasil.

Oliveira *et al.* (2013), em trabalho realizado na Chapada de São José, no Parque Nacional do Catimbau, Pernambuco, Brasil, objetivando observar a diversidade de fungos filamentosos nos solos desse parque, relataram oito espécies de Mucorales: *Absidia cylindrospora*, *Cunninghamella blakesleeana*, *C. vesiculosa* P.C. Misra, *Gongronella butleri*, *Mucor fuscus*, *Rhizopus microsporus*, *R. arrhizus* (como *R. oryzae*) e *Syncephalastrum racemosum*.

Santiago *et al.* (2013a) isolaram 19 táxons de Mucorales, distribuídos entre os gêneros *Absidia*, *Apophysomyces* Misra, *Cunninghamella*, *Fennellomyces* Benny & R. K. Benjamin, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Mycotypha* Fenner, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*, em estudos sobre a diversidade de solo em áreas de Caatinga, nos municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó e Triunfo, semiárido pernambucano. *Apophysomyces elegans* P. C. Misra, K. J. Srivast. & Lata e *M. microspora* Fenner foram reportadas pela primeira vez para o Brasil. Em outro trabalho, Santiago *et al.* (2013b) descreveram uma nova espécie, *Lichtheimia brasiliensis* A. L. Santiago, Lima & Oliveira, isolada de solo no município de Araripina, Pernambuco, Brasil.

2.5 Mucorales isolados de excrementos

Os excrementos de animais herbívoros são substratos ricos em carbono, vitaminas, sais minerais, nitrogênio, e que apresentam uma elevada capacidade para retenção de água, sendo ideais para crescimento dos fungos (Dix & Webster, 1995). Os fungos que habitam esse substrato e/ou que estão associados à decomposição de materiais fecais são chamados de coprófilos (Richardson, 2008). Muitos estudos sobre a diversidade de fungos coprófilos foram realizados, embora poucos se refiram exclusivamente aos Mucorales (Trufem, 1984; 1985; Foos, 1985; 1989; Hu *et al.*, 1989; Alves *et al.*, 2002; Santiago *et al.*, 2011).

Um estudo taxonômico de *Pilobolus* Tode Fr. presente em excrementos de herbívoros no Canadá, realizado por Grove (1934), incluiu a delimitação de nove espécies conhecidas: *P. crystallinus* (F.H. Wigg.), *P. longipes* Tiegh, *P. roridus* (Bolton) Pers, *P. kleinii* Tiegh., *P. sphaerosporus* (*P. lentiger* Corda), *P. heterosporos* (= *P. kleinii*), *P. oedipus* Mont., *P. umbonatus* Buller e *P. nanus* Tiegh.

Em uma série de trabalhos realizados sobre fungos coprófilos em Recife, Pernambuco, Brasil, Batista (1948) e Batista & Pontual (1948), descreveram *Pilobolus kleinii*, *P. Nanus*, *P. longipes*, *P. crystallinus* e *P. argentinus* Speg (*P. oedipus*), em excrementos de bovinos, suínos e equinos. *Absidia repens*, *Mucor racemosus* e *Rhizopus nigricans* (= *R. stolonifer*) foram isoladas de excrementos de bovinos (Batista *et al.* 1961).

Foram reportadas *Absidia merdaria* (*Lichtheimia hyalospora*), *L. ramosa* (como *A. ramosa*), *L. corymbifera* (como *A. corymbifera*), *Helicostylum nigricans* Tiegh, *Phascolomyces articulatus* Boedijn ex Benny & R.K. Benj, *Pilobolus kleinii*, *P. morinii* Sacc. (*P. minutus*), *P. hyalosporus* Boedijn (= *P. crystallinus*), *P. crystallinus* e *Utharomyces epallocaulus* Boedijn ex P.M. Kirk & Benny em excrementos de coelho, carneiro, porco, morcego e rato, dentre outros animais, na Indonésia (Boedijn, 1959).

Nand & Mehrotra (1968, 1977) reportaram para Índia as seguintes espécies de *Pilobolus* em excrementos: *P. crystallinus* (excrementos de búfalo, boi e camelo), *P. oedipus* (humanos), *P. umbonatus* (boi), *P. roridus* (cabra, coelho e pavão), *P. sphaerosporus* (gato, pavão e boi), *P. longipes* (cavalo), *P. kleinii* (cavalo, jumento e cabra), *P. nanus* (rato) e *P. heterosporus* (rato, boi e pavão).

Nagy & Harrower (1979) estudaram a sucessão de fungos coprófilos em excrementos de canguru e coelho na Austrália e reportaram *Pilaira anomala* (Ces.) J. Schröt, *Pilobolus crystallinus*, *Rhizopus nigricans* e *Mucor mucedo* Fresen presentes nos excrementos analisados.

Em estudo sobre a diversidade de fungos coprófilos em equinos no Chile, alguns Mucorales foram identificados: *Actinomucor elegans*, *Chaetocladium brefeldii* Tiegh. & G. Le Monn., *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. parvispora* Kanouse, *M. racemosus*, *Pilobolus. kleinii*, *Piptocephalis lepidula* (Marchal) P. Syd., *Rhopalomyces elegans* Corda e *Thamnostylum piriforme* (Bainier) A.R.X. & H.P (Piontelli *et al.*, 1981). Já McCarthy (2000) estudou a sucessão de fungos em fezes de equinos nos estábulos de Armidale, Austrália, e sete gêneros foram observados: *Cunninghamella*, *Mucor*, *Pilaira* van Tieghem, *Pilobolus*, *Piptocephalis*, *Rhizopus* e *Syncephalis*. Enquanto Foos & Rakestraw (1985) descreveram *P. crystallinus* e *P. longipes* em excrementos de cavalo e pônei em Ohio, EUA.

Em estudo realizado para investigar a diversidade de Mucorales em excrementos de herbívoros em cativeiro na Fundação Parque Zoológico do Estado de São Paulo, Brasil, foram analisadas amostras de excrementos de cabra-de-malta, camelo, carneiro-da-montanha, égua, girafa, guanaco, gnu, orix-cimitarra, orix-gazela, veado-catingueiro e zebra. Foram relatadas: *Lichtheimia ramosa* (como *A. ramosa*) (fezes de orix-cimitarra e orix-gazela), *Circinella minor* Lendn (orixcimitarra, veado-catingueiro e zebra), *C. muscae* (girafa, guanaco, orix-cimitarra e zebra), *C. umbellata* Tiegh. (cabra-de-malta, carneiro-da-montanha, guanaco, orix-cimitarra, orix-gazela e veado-catingueiro), *Mucor circinelloides* (girafa), *M. fuscus* (gnu, orixcimitarra e zebra), *M. hiemalis* (cabra-de-malta, carneiro-da-montanha, égua, guanaco, gnu, orix-cimitarra, orix-gazela, veado-catingueiro e zebra), *M. mousanensis* (girafa), *M. mucedo* (cabra-de-malta, girafa, gnu, guanaco, orix-cimitara, veado-catingueiro e zebra), *M. piriformis* (camelo, girafa, orix-cimitarra e zebra), *Dispira cornuta* Tiegh (égua e guanaco), *Syncephalis asymmetrica* Tiegh. & G. Le Monn (camelo e zebra), *S. cornu* Tiegh. & G. Le Monn (égua e girafa), *S. penicillata* Indoh (girafa), *S. sphaerica* Tiegh (égua), *S. tengi* S.H. Ou (égua), *Syncephalastrum racemosum* (como *S. verruculosum*) (égua), *Pilobolus crystallinus*, *P. kleinii*, *P. sphaerosporus*, *P. pullus* Masee, *P. heterosporus*, *P. lentiger* (como *P. borzianus* Morini), *P. minutus* Speg. (como *P. morinii* Sacc), *P. longipes* e *P. oedipus*. As fezes de órix foram as mais propícias para a ocorrência de Mucorales, com 10 espécies, seguidas pelas fezes de cabra de malta, camelo, carneiro-da-montanha (5

espécies), girafa (4), veado-catingueiro (3), zebra (2) e cavalo (1) (Trufem, 1984; Trufem & Viriato, 1985).

Em estudos direcionados em avaliar a diversidade de *Pilobolaceae* no Parque Nacional de Yellowstone nos EUA, Foos & Royer (1989) descreveram *Pilobolus crystallinus* (excrementos de antílope, carneiro, bisão, alce e veado-mula), *P. kleinii* (antílope, carneiro, bisão, alce, cavalo e cervo) e *P. roridus* (antílope, carneiro, alce, cervo e veado-mula).

Hu *et al.* (1989) descreveram e ilustraram espécies *Pilobolus* delimitando 7 variedades: *P. crystallinus* var. *crystallinus*, *P. crystallinus* var. *hyalosporus*, *P. crystallinus* var. *kleinii* (Tiegh.) R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *P. lentiger* var. *lentiger* Corda, *P. lentiger* var. *minutus* (Speg.) R.Y. Zheng & G.Q. Chen, *P. longipes*, *P. oedipus*, *P. roridus* var. *roridus* (Bolton) Pers. e *P. roridus* var. *Umbonatus* (Buller) F.M. Hu & R.Y. Zheng.

Caretta & Piontelli (1996) estudaram excrementos de cervo, a fim de observar a ocorrência de fungos coprófilos em Pavia (Lombardia, Itália) e observaram as seguintes espécies: *Mortierella reticulata* Tiegh. & G. Le Monn, *Mucor bainieri*, *M. hiemalis*, *M. plumbeus*, *M. racemosus*, *Pilobolus blakesleeanus*, *P. kleinii*, *P. lepidula*, *R. stolonifer*, *S. cornu* e *T. elegans*. *Mucor hiemalis* teve maior frequência de ocorrência (76,2%), enquanto Nyberg & Persson (2002) citaram apenas a ocorrência de *Pilobolus kleinii* em excrementos de alce na província de Angermanland, Suíça.

Estudando a sucessão de fungos coprófilos isolados de excrementos de elefante, girafa, zebra, leopardo, gnu e rafigero-comum, na África do Sul, Ebersohn & Eicker (1997) verificaram a ocorrência de *Pilobolus kleinii*, *P. crystallinus*, *P. longipes* e *Rhizopus stolonifer*, dentre outras espécies pertencentes a outros grupos de fungos. Em estudo semelhante, no Estado de Marula, Quênia, Caretta *et al.* (1998) verificaram apenas três Mucorales em fezes de herbívoros: *Actinomucor elegans* (excrementos de “antílope africano”), *Mucor hiemalis* (boi zebu), e *Pilobolus crystallinus* (boi zebu, búfalo africano, “Bauala”, eland, impala, “antílope africano”, rafigero-comum, “Cob-untoso”).

Richardson (2001a) estudou a diversidade e ocorrência de fungos coprófilos na Austrália, Brasil, Costa Rica, França, Inglaterra, Ilhas Canárias, Ilhas Gregas, Porto Rico e República Dominicana. Foram coletados excrementos de carneiro, boi, cervo, coelho, galo e lebre em duas épocas do ano, verão e inverno. Dos Mucorales observados citam-se: *Pilaira moreauri* Y. Ling (excrementos de cervo e carneiro), *Pilobolus crystallinus* (cervo, carneiro e boi) e *P. kleinii* (cervo, carneiro, boi e coelho). O autor concluiu que existem diferenças nas comunidades de fungos entre excrementos dos animais, e entre as fezes coletadas nas diferentes latitudes e nas duas estações do ano. Já em outro trabalho realizado em Bonito e Corumbá, Brasil, foram reportadas *P. crystallinus* (fezes de cervo e carneiro) e *P. lentiger* (*P. sphaerosporus*) (carneiro, capivara e cavalo) (Richardson, 2001b).

Alves *et al.* (2002) realizaram um estudo sobre a ocorrência de táxons de *Mucor* em fezes de herbívoros em Recife, Pernambuco. Foram isoladas *M. circinelloides* (como *M. circinelloides* f. *circinelloides*) (fezes de bisão, boi, cabra, carneiro, coelho, eland e veado catingueiro), *M. hiemalis* (bisão, cabra, cavalo, coelho e cutia), *M. luteus* (cabra, cavalo, carneiro, coelho e cutia), *M. genevensis* (carneiro e cutia), *M. piriformis* f. *piriformis* (cavalo), *M. piriformis* f. *nanus* (bisão), *M. racemosus* f. *chibinensis* (bisão, cabra, coelho e cutia), *M. subtilissimus* Oudem (cavalo) e *M. variosporus* (veado-catingueiro).

Estudando a diversidade de fungos coprófilos presentes nos excrementos de coelho, lebre e cervo em regiões contaminadas por resíduos industriais na Polônia e na República Tcheca, Vánová & Kubátová (2004) verificaram 10 táxons pertencentes aos Mucorales: *Cunninghamella elegans*, *C. echinulata*, *M. circinelloides*, *M. corticola* Hagem, *Mucor hiemalis*, *M. mucedo*, *M. wosnessenskii* Schostak (= *M. piriformis*), *Pilaira anomala*, *Pilobolus crystallinus* e *Rhizopus stolonifer*. O excremento de cervo apresentou maior riqueza de espécies de Mucorales e *M. hiemalis* foi a espécie mais frequente nos excrementos.

Santiago *et al.* (2011) relataram 33 taxóons de Mucorales, presentes em excrementos de anta, antílope, jumento, camelo, cavalo, cervo, cotia e lhama, presentes na Reserva Ecológica Dois Irmãos, Recife, Pernambuco. As espécies observadas foram *Backusella lamprospora* (Lendn.) Benny & R.K. Benj., *Circinella muscae*, *C. rigida*, *C. umbellata*, *Cunninghamella blakesleeana* Lendn, *C. echinulata*, *C. phaeospora*, *Gilbertella persicaria* (E.D. Eddy) Hesselt, *Lichtheimia hyalospora* (Lendn). K. Hoffm., Walther & K. Voigt, *Mucor circinelloides*, *M. guilliermondii* Nadson & Philippow, *M. hiemalis*, *M. mousanensis* Baijal & B.S. Mehrotra, *M. mucedo*, *M. racemosus* f. *chibinensis* (Neophyt.) Schipper, *M. ramosissimus* Samouts, *M. subtilissimus*, *M. fuscus*, *Pilaira anomala*, *Pilobolus crystallinus*, *P. crystallinus* var. *hyalosporus*, *P. Kleinii*, *P. lentiger*, *P. minutus*, *P. longipes*, *P. roridus*, *P. umbonatus*, *Rhizopus arrhizus*, *Syncephalastrum racemosum* e *Thamnostylum piriforme*. Os autores observaram que existe diferença significativa na riqueza entre os excrementos e que a sazonalidade influencia na composição das espécies.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Áreas de estudo

O Parque Nacional do Catimbau (8°31'55.8''S, 37°15'34.2''O) está situado entre o Sertão e o Agreste de Pernambuco, localizado a 285km de Recife, e abrange os municípios de Buíque, Ibimirim, Inajá e Tupanatinga. A temperatura média anual é de 25°C com precipitações de 1.060mm/ano. O período chuvoso ocorre de abril até julho, e o seco de agosto a março (Silva et al., 2011). O parque possui uma vegetação que muda de acordo com o tipo e umidade do solo e do ar, variando do tipo arbóreo não espinhoso até espécies arbustivas com espinhos, apresentando tipos característicos do complexo de fisionomias do bioma Caatinga, como o carrasco, caatinga arenosa e a caatinga *stricto sensu* (Andrade et al., 2004).

As amostras do solo foram coletadas dentro do parque, em quatro áreas, três áreas naturais com fitofisionomias diferentes: carrasco (Figura 1), caatinga arenosa (Figura 2) e vegetação de caatinga *stricto sensu* (Figura 3) e uma subárea dentro da caatinga *stricto sensu*, antropizada (Figura 4) por apresentar sistemas de agropecuária familiar.

O carrasco, termo utilizado para designar vegetações arbustivas, não espinhosas, de solos pedregosos da Caatinga, localizada entre 900 a 1000 m de altitude, apresenta em sua composição vegetal, dentre outras, as seguintes espécies: *Banisteriopsis stellaris* Gates, *Bauhinia acuruana* Moric, *Buchenavia capitata* Eicheler, *Cnidoscylus vitifolius* Pohl, *Eugenia tapacumensis* Berg, *Piptadenia obliqua* Macbr, *Pyrostegia venusta* Miers, *Rollinia leptopetal* Safford, *Senna macranthera* var. *micans* Irwin & Barneby, *S. splendida* var. *gloriosa* Irwin & Barneby, *Serjania lethalis* Hil, *Solanum baturitense* Huber, *S. stipulaceum* Willd, *Strychnos rubiginosa* DC, *Waltheria ferruginea* Hil, *Zanthoxylum stelligerum* Turez. (Andrade et al., 2004).

A caatinga arenosa apresenta uma vegetação xerófila florestal e arbustiva espinhosa, depositada sobre sedimentos arenosos, situada entre 600 e 800 m de altitude, possuindo elementos da composição florística de ambas as vegetações, tendo como principais espécies: *A. corallina*, *B. acuruana*, *Banisteriopsis schizoptera* B. Gates, *Caesalpinia microphylla* G. Don, *Chamaesyce thymifolia* Millsp., *C. vitifolius*, *Cordia leucocephala* Moric, *Croton grewioides* Baill, *Eugenia puniceifolia* DC, *E. tapacumensis*, *Guapira laxa* Furlan, *Passifloraceae*, *P. obliqua*, *R. leptopetala*, *S. macranthera* var. *micans*, *S. lethalis*, *S. baturitense*, *S. rubiginosa*, *L. camara* L, *V. chalybaeae*, *W. ferruginea* e *Z. stelligerum* (Andrade et al., 2004).

A caatinga *stricto sensu*, caracterizada por apresentar uma vegetação xerófila, não florestal espinhosa, em solo argiloso, tem em sua composição vegetal as principais espécies: *Alibertia rigida* K.Schum, *Arrabidaea corallina* Sandwith, *Guapira laxa* Furlan, *Coutarea hexandra* K.Schum,

Lantana camara L., *Tocoyena formosa* K.Schum, *Veronia cholybaea* DC e *Wulffia baccata* Kuntze (Andrade *et al.*, 2004).

As amostras de excrementos de bovinos (*Bos taurus* Linnaeus), caprinos (*Capra hircus* Linnaeus) e ovinos (*Ovis aries* Linnaeus) foram coletadas na área antropizada, onde os animais são criados pelo método de pastoreio. Segundo Cavalcanti & Resende (2006) a prática de pastoreio é comum na Caatinga, sendo os rebanhos criados livremente, utilizando plantas nativas como forrageio. A Tabela 1 mostra as principais plantas utilizadas pelos animais, demonstrando que os caprinos apresentam uma maior comestibilidade de espécies na Caatinga, seguidos pelos bovinos e ovinos.

Tabela 1 - Plantas consumidas pelos animais do Parque Nacional do Catimbau.

Planta (nome popular)	Nome científico	BOI	CABRA	OVELHA
Baraúna	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	+	+	-
Catingueira	<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	+	-	-
Facheiro	<i>Cereus squamosus</i> Gürke	+	+	+
Jurema preta	<i>Mimosa hostilis</i> Benth.	-	+	+
Jurema branca	<i>Pithecolobium comosum</i> Benth.	-	+	+
Mandacaru	<i>Cereus jamacaru</i> P. D.C.	+	-	-
Macambira	<i>Bromelia laciniosa</i> Mart. ex Schult.	+	+	+
Pereiro	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	-	+	-
Xiquexique	<i>Pilosocereus gounellei</i> (A. Weber ex K. Schum.) Bly. Ex Rowl.	+	+	+

Fonte: (Alves, 2009).



Figura 1. Aspecto do carrasco no Parque Nacional do Catimbau, Buique-PE.



Figura 2. Aspecto da caatinga arenosa no Parque Nacional do Catimbau, Buique-PE.



Figura 3. Aspecto da caatinga *stricto sensu* nativa no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.

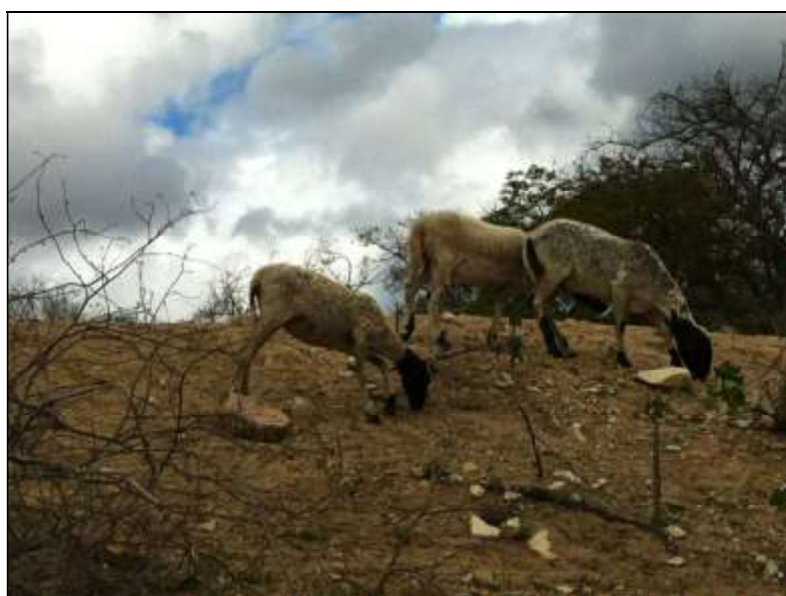


Figura 4. Aspecto da caatinga *stricto sensu* antropizada no Parque Nacional do Catimbau, Buíque-PE.

3.2. Coleta dos substratos

3.2.1 Coleta dos solos

Entre agosto/2012 e janeiro/2013 foram realizadas seis coletas de solo durante o período de estiagem (Figura 5). Em cada área foram distribuídos aleatoriamente oito quadrantes de 25m² (5 x 5m), respeitando uma distância mínima de 10m entre os mesmos. Em cada quadrante foram coletadas seis subamostras de solo em pontos equidistantes a uma profundidade de 20cm, totalizando 48 subamostras de solo para cada área e 192, considerando-se as quatro áreas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e conservadas em caixas de isopor com gelo durante o transporte. No laboratório de Micologia da UFPE, foram homogeneizados volumes iguais das seis subamostras de cada quadrante de coleta originando uma amostra composta por quadrante, totalizando oito amostras compostas por área de coleta. No total, foram analisadas 32 amostras compostas de solo por coleta.

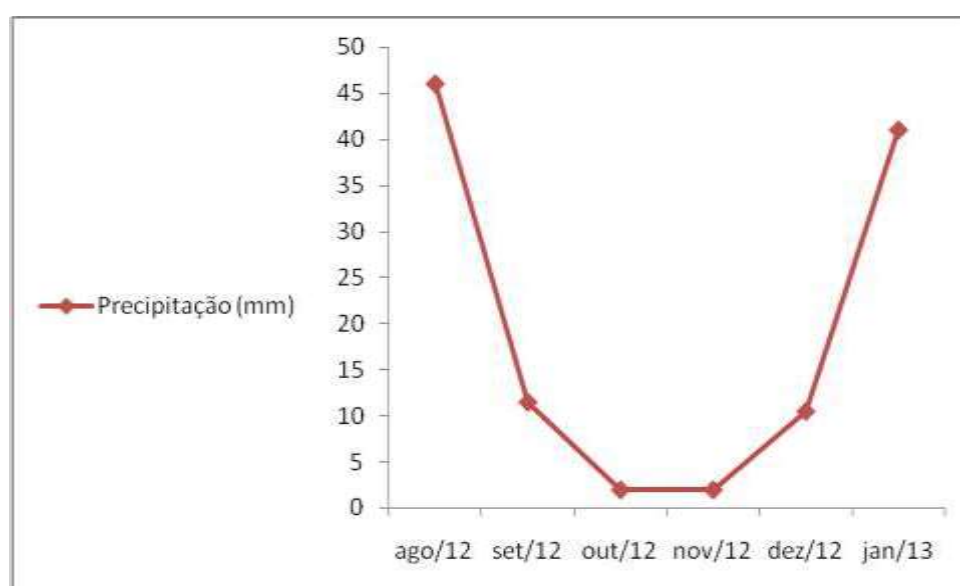


Figura 5. Precipitação durante o período de coletas de solo no Parque Nacional do Catimbau.

Fonte: Instituto Agrônômico de Pernambuco.

3.2.2 Coleta do excremento

Foram realizadas seis coletas de excrementos de boi (*Bos taurus* L.), cabra (*Capra hircus* L.) e ovelha (*Ovis aries* L.) entre janeiro/2013 e junho/2013 (Figura 6). As amostras de excremento foram coletadas com auxílio de espátula e/ou pinças previamente esterilizadas e acondicionadas em sacos plásticos limpos, previamente identificados e, em seguida, levadas ao Laboratório de Micologia, da Universidade Federal de Pernambuco. As amostras foram transferidas logo após a coleta, para recipientes térmicos com gelo por, no máximo, 24 horas, até a incubação.

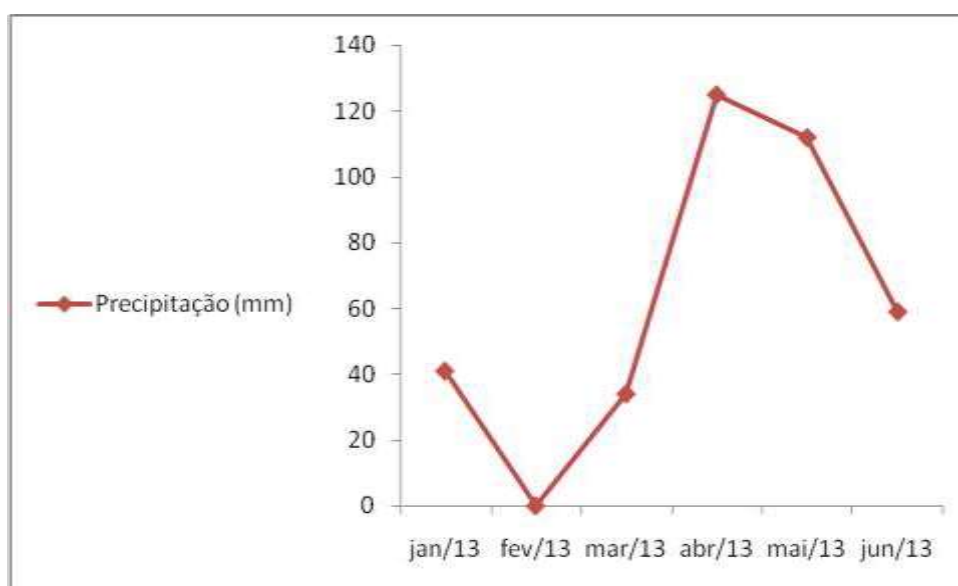


Figura 6. Precipitação durante o período de coletas de excrementos no Parque Nacional do Catimbau

Fonte: Instituto Agrônômico de Pernambuco.

3.3 Isolamento e identificação dos Mucoromycotina

Para o isolamento dos Mucorales dos solos, 5mg desse substrato foram adicionados ao meio de cultura de ágar gérmem de trigo (Benny, 2008) adicionado de cloranfenicol (80mg/L) contido em placas de Petri. Para cada amostra de solo foram preparadas placas em triplicata. O crescimento das colônias foi acompanhado por 72 horas a 28 ± 1 °C. Para a purificação dos Mucorales, fragmentos das colônias foram transferidos separadamente para o meio ágar malte (O'Donnell, 1979) adicionado de cloranfenicol (80mg/L), contido em placas de Petri e, depois de confirmada a pureza, transferidos para tubos de ensaio contendo batata dextrose ágar – BDA (Lacaz *et al.*, 2002).

Para o isolamento dos Mucorales dos excrementos, as 5g das amostras coletadas foram incubadas em câmaras úmidas (preparadas com 2 folhas de papel filtro para cada placa de Petri e umidecidas com água destilada esterilizada) e deixadas sobre a bancada a 28 ± 2 °C por 15 dias, com alternância entre luz natural e escuridão. Os Mucorales presentes nos excrementos foram retirados com auxílio de micro agulha e transferidos para meio de cultura ágar malte (O'Donnell, 1979) adicionado de cloranfenicol (80mg/L) sob estereomicroscópio. As espécies que não cresceram facilmente em meio de cultura foram identificadas através da observação das micro-estruturas, retiradas diretamente do substrato, em microscópio de luz (Santiago *et al.*, 2011).

Os táxons foram identificados pela observação das características macroscópicas (coloração, aspecto e diâmetro das colônias) e microscópicas (microestruturas), de acordo com as descrições de Nand & Mehrotra (1977), Benny (1982), Schipper (1978, 1984, 1990), Hu *et al.* (1989), Domsch *et al.* (1993), Hesseltine & Fennel (1995), Hoffmann *et al.*, (2007), Zheng & Chen (2001), Zheng *et al.*, (2007) e Santiago *et al.*, (2008).

3.4 Frequência de ocorrência

A frequência de ocorrência (F_i) das espécies foi estimada segundo a equação:

$$F_i = J_i/k$$

Onde: F_i = frequência de ocorrência da espécie i

J_i = número de amostras nas quais a espécie i ocorreu.

K = número total de amostras de solo.

3.5 Distribuição dos Mucorales

A distribuição de cada espécie de Mucorales nas quatro áreas foi calculada aplicando-se a fórmula:

$$D_i = (N_i/N) \times 100$$

Onde: D_i = distribuição da espécie i .

N_i = número de UFC da espécie i .

N = número total de UFC.

De acordo com esta fórmula, as distribuições das espécies foram classificadas como: $< 0,5\%$ = rara, $\geq 0,5 < 1,5\%$ = ocasional, $\geq 1,5 < 3,0\%$ = comum, $\geq 3,0\%$ = abundante (Schnittler & Stephenson, 2000).

3.6 Diversidade do Mucorales

Utilizando-se o programa Primer (Clarke & Gorley, 2006) foi determinada a diversidade de Shannon Wiener.

3.7 Análise estatística

A comparação da comunidade fúngica entre as áreas foi realizada através da Análise de Similaridade (ANOSIM), em que a matriz de similaridade Bray-Curtis foi representada graficamente através da ordenação não métrica por escalonamento multidimensional (MDS). Curvas de acumulação de espécies também foram calculadas para cada área, o que permitiu estimar a riqueza total de cada área através de estimadores como Chao e Jackknife. Para essas análises multivariadas foi utilizado o programa Primer (Clarke & Gorley, 2006), enquanto as análises de variância (ANOVA) e comparação de médias, pelo teste de Tukey ($p = 0,05$) foram realizadas utilizando-se o programa Statistica (Statsoft, 1997).

3.8 Extração de DNA, amplificação e sequenciamento

Foi realizada a extração do DNA para confirmação molecular de isolados que não puderam ser confirmados pela morfologia. A biomassa foi obtida de culturas puras, onde o micélio foi transferido para microtubos de 2ml com tampa de rosca, acrescidos de 0,5g de pérolas de vidro para a trituração do material por agitação em alta velocidade em um FastPrep. Após a trituração do material foi realizada a extração do DNA genômico conforme Góes-Neto et al. (2005). Foram amplificadas as regiões ITS do rDNA utilizando os iniciadores ITS1 e ITS4, (White *et al.*, 1990; Van Tuinen *et al.* 1998; Santiago *et al.*, 2013). Os produtos amplificados foram purificados com PureLink – PCR Purification Kit – Invitrogen e posteriormente clonados com o CloneJET PCR Cloning Kit (Fermentas; Carlsbad, USA) seguindo a metodologia do fabricante. As sequências foram enviadas ao Centro de Estudos do Genoma Humano, da Universidade de São Paulo, Brasil, sendo os resultados comparados a biblioteca de genes (GenBank) utilizando o Blastn. A análise filogenética foi realizada utilizando a região ITS do rDNA. As sequências foram alinhadas no CLUSTALX (Larkin et al. 2007) e editadas utilizando o BioEdit (Hall 1999), tendo a Análise Bayesiana sido realizada pelo MrBayes 3.1.2 (Ronquist and Huelsenbeck 2003).

4 RESULTADOS

4.1. Mucorales do solos

Dos solos das fitofisionomias de Caatinga foram isolados 13 táxons de Mucorales ($9,99 \times 10^4$ UFC/g de solo), distribuídos entre os gêneros *Absidia*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. A área de caatinga *strictu sensu* natural apresentou um maior número de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) de Mucorales por grama de solo (33×10^3 UFC/g de solo). Porém, de acordo com a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p = 0,05$), não houve diferenças significativas entre as áreas com relação aos valores totais de UFC/g de solo (Tabela 2). Nove táxons foram presentes na área de caatinga *strictu sensu* natural, seis na caatinga *strictu sensu* antropizada, 11 no carrasco e nove na caatinga arenosa. *Rhizopus microsporus* apresentou maior número de UFC/g de solo ($4,83 \times 10^4$), seguida por *Syncephalastrum racemosum* ($1,38 \times 10^4$) e por *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora* ($1,36 \times 10^4$) (Tabela 3, Figuras 10, 11 e 12).

Dentre os isolados, *R. microsporus* foi mais frequente ($Fi = 21,7\%$), sendo considerada ocasional ($Di = 0,57\%$), seguida por *A. cylindrospora* var. *cylindrospora* ($Fi = 5,90\%$; $Di = 0,16\%$) e por *S. racemosum* ($Fi = 5,03\%$; $Di = 0,16\%$). *A. cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Abisidia* sp, *Cunninghamella elegans*, *C. echinulata*, *G. butleri*, *L. brasiliensis*, *L. hyalospora*, *L. ramosa*, *M. circinelloides*, *M. hiemalis*, *R. arrhizus* e *S. racemosum* apresentaram uma baixa distribuição ($Di < 0,5\%$), sendo consideradas raras em todas as áreas de onde foram isoladas (Tabela 4).

Tabela 2. Valores totais de unidades formadoras de colônias (UFC) de Mucorales por grama de solo de caatinga *strico sensu* nativa (CAN); caatinga *strico sensu* antropizada (ANT); carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) no Parque Nacional do Catimbau.

Áreas	UFC/g de solo
CAN	33×10^3 a
ANT	$19,2 \times 10^3$ a
CAR	$19,9 \times 10^3$ a
CAA	$27,8 \times 10^3$ a
TOTAL	$9,99 \times 10^4$

Os valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p = 0.05$).

Tabela 3 - Número de unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC/g de solo) dos Mucorales isolados de solos do Parque Nacional do Catimbau.

Espécie	CAN	ANT	CAR	CAA	Total
<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i> Hagem	4,8 x 10 ³	4 x 10 ²	2,4 x 10 ³	6 x 10 ³	13,6 x 10 ³
<i>Absidia</i> sp.	4 x 10 ²	2 x 10 ³	2 x 10 ³	3 x 10 ³	7,4 x 10 ³
<i>Cunninghamella elegans</i> Lendn.	4,8 x 10 ³	0	1 x 10 ³	0	5,8 x 10 ³
<i>C. echinulata</i> Thaxt.	4 x 10 ²	2,2 x 10 ³	0	0	2,6 x 10 ³
<i>Gongronella butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco	0	0	0	2 x 10 ²	2 x 10 ²
<i>Lichtheimia brasiliensis</i> A.L. Santiago, Lima & Oliveira	2 x 10 ²	0	8 x 10 ²	0	1 x 10 ³
<i>L. hyalospora</i> (Saito) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt	0	0	6 x 10 ²	0	6 x 10 ²
<i>L. ramosa</i> (Zopf) Vuill.	0	0	4 x 10 ²	2 x 10 ²	6 x 10 ²
<i>Mucor circinelloides</i> Tiegh.	2 x 10 ²	0	4 x 10 ²	2 x 10 ²	8 x 10 ²
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	0	0	6 x 10 ²	2 x 10 ²	8 x 10 ²
<i>Rhizopus arrhizus</i> A. Fisch.	1,6 x 10 ³	1 x 10 ³	1 x 10 ³	8 x 10 ²	4,4 x 10 ³
<i>R. microsporus</i> Tiegh.	19,2 x 10 ³	13,2 x 10 ³	8,3 x 10 ³	7,6 x 10 ³	4,83 x 10 ⁴
<i>Syncephalastrum racemosum</i> Cohn ex J. Schröt.	1,4 x 10 ³	4 x 10 ²	2,4 x 10 ³	9,6 x 10 ³	13,8 x 10 ³
TOTAL	33 x 10 ³	19,2 x 10 ³	19,9 x 10 ³	27,8 x 10 ³	99,9 x 10 ³
Riqueza de espécies	9b	6c	11a	9b	13

CAN = caatinga *strico sensu* nativa; ANT = caatinga *strico sensu* antropizada; CAR = carrasco; CAA= caatinga arenosa. Os valores seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey (p = 0.05).

Tabela 4 - Frequência de ocorrência (Fi) e distribuição (Di) dos Mucorales isolados de solos do Parque Nacional do Catimbau.

Espécie	Fi	Di
<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i>	5,90%	0,16%
<i>Absidia</i> sp.	4,51%	0,08%
<i>Cunninghamella elegans</i>	2,43%	0,069%
<i>C. echinulata</i>	1,73%	0,031%
<i>Gongronella butleri</i>	0,17%	0,002%
<i>Lichtheimia brasiliensis</i>	0,52%	0,011%
<i>L. hyalospora</i>	0,34%	0,007%
<i>L. ramosa</i>	0,34%	0,007%
<i>Mucor circinelloides</i>	0,34%	0,009%
<i>M. hiemalis</i>	0,34%	0,009%
<i>Rhizopus arrhizus</i>	2,08%	0,052%
<i>R. microsporus</i>	21,7%	0,57%
<i>Syncephalastrum racemosum</i>	5,03%	0,16%

A similaridade da comunidade dos Mucorales foi maior entre solos das áreas de carrasco e caatinga arenosa (69,13%), diferindo da observada entre caatinga *strictu sensu* nativa e carrasco (56%) e caatinga *strictu sensu* nativa e caatinga arenosa (51,54%). A similaridade entre solos das caatingas *strictu sensu* nativa e antropizada foi de 60,18% (Tabela 5, Figura 7).

Tabela 5 - Análise de similaridade de Bray-Curtis da composição de Mucorales entre as áreas de caatinga *strico sensu* nativa (CAN), caatinga *strico sensu* antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) do Parque Nacional do Catimbau.

Áreas	CAN	ANT	CAR	CAA
CAN	100%	-	-	-
ANT	60,18%	100%	-	-
CAR	56%	61,70%	100%	-
CAA	51,54%	49,46%	69,13%	100%

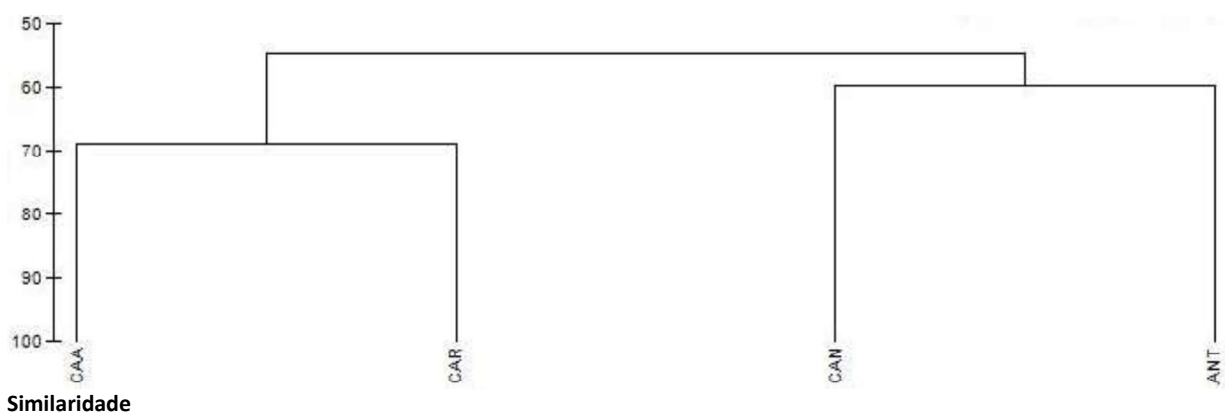


Figura 7 - Dendrograma de Similaridade de Bray-Curtis entre as áreas de caatinga *stricto sensu* nativa (CAN), caatinga *stricto sensu* antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) do Parque Nacional do Catimbau.

A diversidade de Mucorales foi maior nos solos da área de carrasco ($H' = 1,89$), seguida dos solos de caatinga arenosa ($H' = 1,557$) e de caatinga *strictu sensu* nativa ($H' = 1,31$). Solos da caatinga *strictu sensu* antropizada foram menos diversos ($H' = 1,03$) (Tabela 6). Os indicadores Chao 1 indicaram que a riqueza esperada foi atingida em todas as áreas, enquanto os Jacknife 1 estimaram uma riqueza maior para as áreas de caatinga *strictu sensu* nativa (11 espécies) e caatinga arenosa (14 espécies) (Figura 8).

Tabela 6 - Índice de diversidade de Shannon Wiener (H') de Mucorales isolados de solos coletados em áreas com fitofisionomias de caatinga *stricto sensu* nativa (CAN), caatinga *stricto sensu* antropizada (ANT), carrasco (CAR) e caatinga arenosa (CAA) do Parque Nacional do Catimbau.

Áreas	H'
CAN	1,31c
ANT	1,03d
CAR	1,89a
CAA	1,557b

Os valores seguidos de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p = 0.05$).

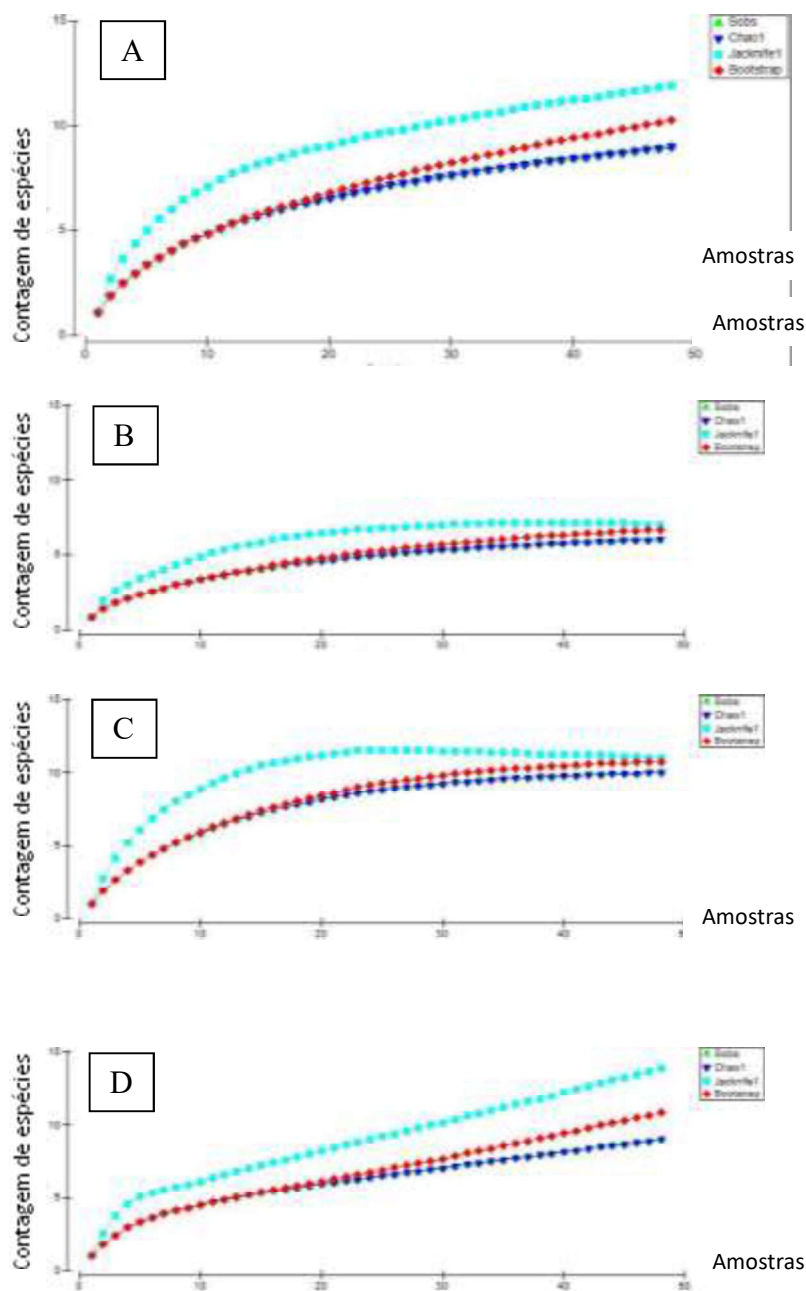


Figura 8 - Estimador de riqueza Chao 1 e Jacknife 1 das áreas de caatinga *strico sensu* nativa (A); de caatinga *strico sensu* antropizada (B); de carrasco (C) e de caatinga arenosa (D).

4.1.2 Chave taxonômica de Mucorales presentes no solo Parque Nacional do Catimbau

1. Esporangiósporos produzidos em esporângios.....	4
1. Esporangiósporos produzidos em outras estruturas.....	2
2. Merósporos produzidos em merosporângios.....	<i>Syncephalastrum racemosum</i> .
2. Esporos produzidos em esporangiólos.....	3
3. Colônias creme para marrons, esporangiólos gigantes escuros presentes em culturas após 7 dias de incubação	<i>Cunninghamella echinulata</i> .
3. Colônias cinza, esporangiólos gigantes ausentes.....	<i>C. elegans</i> .
4. Esporângios sem apófises; rizóides e estolões ausentes ou raros.....	5
4. Esporângios apofisados; estolões e rizóides presentes.....	6
5. Esporangióforos repetidamente ramificados, com ramificações circinadas e columelas obovóides.....	<i>Mucor circinelloides</i> .
5. Esporangióforos não ramificados ou fracamente simpodialmente ramificados com columelas elipsoidais	<i>M. hiemalis</i> .
6. Apófises globosas; rizóides e estolões pouco desenvolvidos.....	<i>Gongronella butleri</i> .
6. Apófises não globosas; rizóides e estolões bem desenvolvidos.....	7
7. Apófises pouco evidentes, esporóforos provenientes de hifas aéreas e/ou de estolões, e/ou crescendo opostos aos rizóides.....	8
7. Apófises evidentes, ou não, com esporóforos surgindo de estolões, nunca opostos aos rizóides.....	9
8. Rizóides simples ou ramificados; esporóforos frequentemente alcançando 1,5mm em comprimento; esporângios maiores que 100µm em diâmetro	<i>Rhizopus arrhizus</i> .
8. Rizóides pouco desenvolvidos; esporóforos nunca ultrapassando 1mm de comprimento; esporângios menores que 100µm em diâmetro	<i>R. microsporus</i> .
9. Septo subesporangial presente; esporangiósporos cilíndricos e células gigantes ausentes.....	10
9. Septo subesporangial ausente ou raro; esporangiósporos globosos ou ovóides e células gigantes presentes ou ausentes	11
10. Esporóforos geralmente simples ou em cachos de 2; esporangiósporos de até 7,5µm em comprimento; projeção na columela de até 7,5µm; produz pigmento marrom em ágar malte a 25°C.....	<i>Absidia</i> sp.
10. Esporóforos geralmente cachos de 4; esporangiósporos de até 5,5µm de comprimento; projeção na columela de até 4,5µm; não produz pigmento em ágar malte a 25°C.....	<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i> .
11. Esporos rugosos, globosos ou subglobosos, ultrapassando 5,5µm de comprimento.....	<i>Lichtheimia hyalospora</i> .
11. Esporos lisos ou levemente rugosos, subglobosos ou elipsóides, não ultrapassando 5,5µm de comprimento.....	12
12. Células gigantes presentes, columelas globosas, subglobosas e/ou espatuladas, algumas com uma ou mais projeções.....	<i>L. ramosa</i> .
12. Células gigantes ausentes, columelas subglobosas e hemisféricas curtas, sem projeções.....	<i>L. brasiliensis</i> .

4.2. Mucorales do excremento

Foram observados 11 táxons de Mucorales nos excrementos de ovinos, caprinos e bovinos, distribuídos em: *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora* (Fi = 6,94%), *Circinella muscae* (Fi = 2,77%), *L. ramosa* (Fi = 8,33%), *M. hiemalis* (Fi = 6,94%), *P. crystallinus* (Fi = 4,16%), *P. Kleinii* (Fi = 15,27%), *P. lentiger* (Fi = 4,16%), *P. longipes* (Fi = 5,55%), *R. arrhizus* (Fi = 5,55%), *R. microsporus* (Fi = 4,16%) e *S. racemosum* (Fi = 16,66%) (Tabela 7, Figuras 13, 14 e 15). A maioria das espécies ocorreu nos excrementos de ovinos (9), seguidos pelos de caprinos (8) e bovinos (6). No entanto, não foram constatadas diferenças significativas no número de táxons presentes nos excrementos de cada animal ($p = 0,482$). *Lichtheimia ramosa*, *P. crystallinus* e *S. racemosum* foram encontradas nos excrementos de todos os animais. *Circinella muscae* foi observada apenas nos excrementos de cabra, enquanto *P. lentiger* foi verificada apenas no excremento de ovelha. *Pilobolus* foi bem distribuído entre os excrementos, exceto nos excrementos de cabra, em que apenas *P. crystallinus* foi observada.

Tabela 7 - Mucorales em excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau.

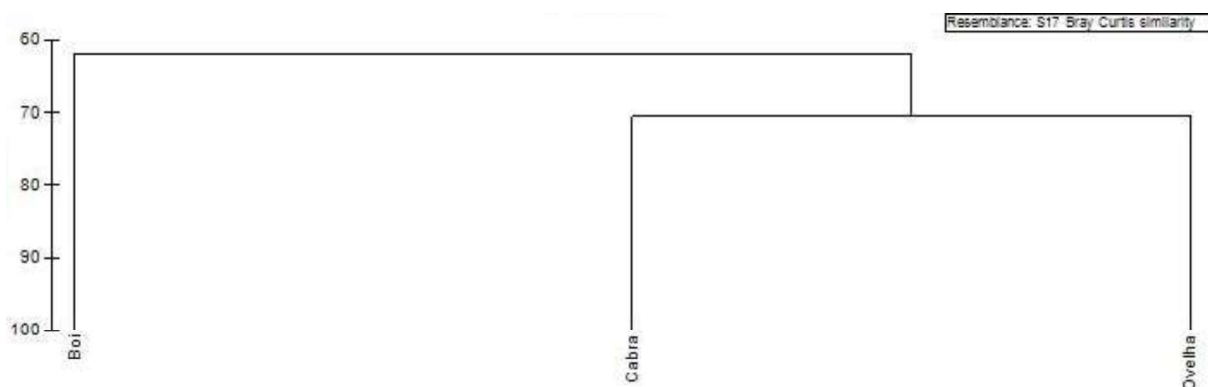
Mucorales	Bovino	Caprino	Ovino	Frequência de ocorrência (Fi)
<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i>	+	+	-	6,94%
<i>Circinella muscae</i> (Sorokín) Berl. & De Toni	-	+	-	2,77%
<i>Lichtheimia ramosa</i>	+	+	+	8,33%
<i>Mucor hiemalis</i>	-	+	+	6,94%
<i>Pilobolus crystallinus</i> (F.H. Wigg.) Tode	+	+	+	4,16%
<i>P. kleinii</i> Tiegh.	+	-	+	15,27%
<i>P. lentiger</i> Corda	-	-	+	4,16%
<i>P. longipes</i> Tiegh.	+	-	+	5,55%
<i>Rhizopus arrhizus</i>	-	+	+	5,55%
<i>R. microsporus</i>	-	+	+	4,16%
<i>Syncephalastrum racemosum</i>	+	+	+	16,66%

+ presença; - ausência.

A similaridade da comunidade dos Mucorales foi maior entre os excrementos de caprinos e ovinos (70,58%), diferindo do observado entre as fezes de bovinos e caprinos (57,14%) e de bovinos e ovinos (66,66%) (Tabela 8, Figura 9).

Tabela 8 - Análise de similaridade de Bray Curtis da composição de espécies de Mucorales entre os excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau.

ANIMAIS	Bovino	Caprino	Ovino
Bovino	100%	57,14%	66,66%
Caprino	-	100%	70,58%
Ovino	-	-	100%



Similaridade

Figura 9 – Dendrograma de similaridade da composição de espécies de Mucorales entre os excrementos de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau.

4.2.1 Chave taxonômica de Mucorales presentes nos excrementos do Parque Nacional do Catimbau

1. Esporóforos portando vesícula subesporangial e trofocisto.....	2
1. Esporóforos sem vesícula subesporangial e trofocisto.....	5
2. Esporangiósporos globosos ou subglobosos.....	3
2. Esporangiósporos elipsóides.....	4
3. Esporangiósporos subglobosos; trofocistos alongados, maiores que 1mm.....	<i>Pilobolus longipes</i> .
3. Esporangiósporos globosos; trofocistos ovalados a globosos até 400µm em comprimento.....	<i>P. lentiger</i> .
4. Esporangiósporos elipsóides amarelos à hialinos 7,5-12,5x4,5-6µm.....	<i>P. crystallinus</i> .
4. Esporangiósporos elipsóides itensamente amarelos à hialinos 10-18x5,5-8µm de comprimento.....	<i>P. kleinii</i> .
5. Esporangiósporos produzidos em esporângios.....	6
5. Merósporos produzidos em merosporângios.....	<i>Syncephalastrum racemosum</i> .
6. Esporângios sem apófise; rizóides e estolões ausentes ou raros.....	7
6. Esporângios apofisados; estolões e rizóides presentes.....	8
7. Esporangióforos não ramificados ou fracamente simpodialmente ramificados com columelas elipsóides	<i>Mucor hiemalis</i> .
7. Esporangióforos com ramificações circinadas com um ou dois esporângios acompanhados de um espinho estéril.....	<i>Circinella muscae</i> .
8. Apófises evidentes, ou não, com esporóforos surgindo de estolões, nunca opostos aos rizóides.....	9.
8. Apófises pouco evidentes, esporóforos provenientes de hifas aéreas e/ou de estolões, e/ou crescendo opostos aos rizóides.....	10.
9. Septo subesporangial ausente ou raro; esporangiósporos globosos ou elipsóides e células gigantes presentes.....	<i>Lichtheimia ramosa</i> .
9. Septo subesporangial presente; esporangiósporos cilíndricos e células gigantes ausentes	<i>Absidia cylindrospora</i> var. <i>cylindrospora</i> .
10. Rizóides simples ou ramificados; esporóforos frequentemente alcançando 1,5mm em comprimento; esporângios maiores que 100µm em diâmetro	<i>Rhizopus arrhizus</i> .
10. Rizóides pouco desenvolvidos; esporóforos nunca ultrapassando 1mm em comprimento; esporângios menores que 100µm em diâmetro	<i>R. microsporus</i> .

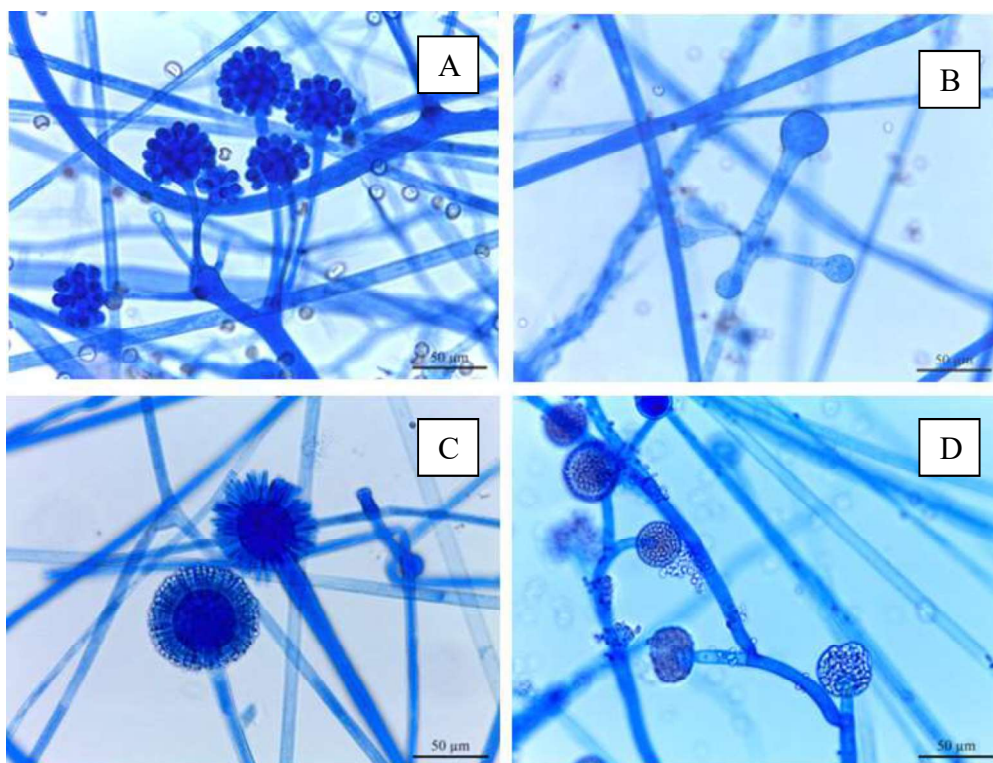


Figura 10 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. Esporóforos: **A** - *Cunninghamella echinulata*; **B** - *C. elegans*; **C** - *Syncephalastrum racemosum*; **D** - *Mucor circinelloides*.

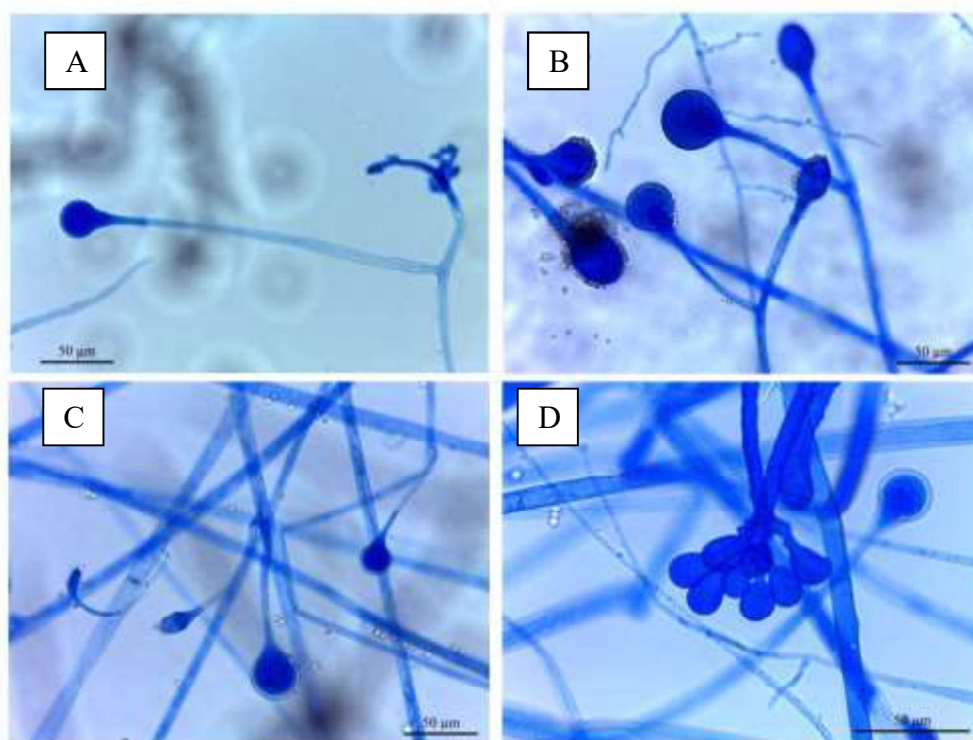


Figura 11 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. *Lichtheimia brasiliensis*: **A** - Esporóforos; *L. ramosa*: **B** - Esporóforos; *L. hyalospora*: **C** - Esporóforos; **D** - Células gigantes.

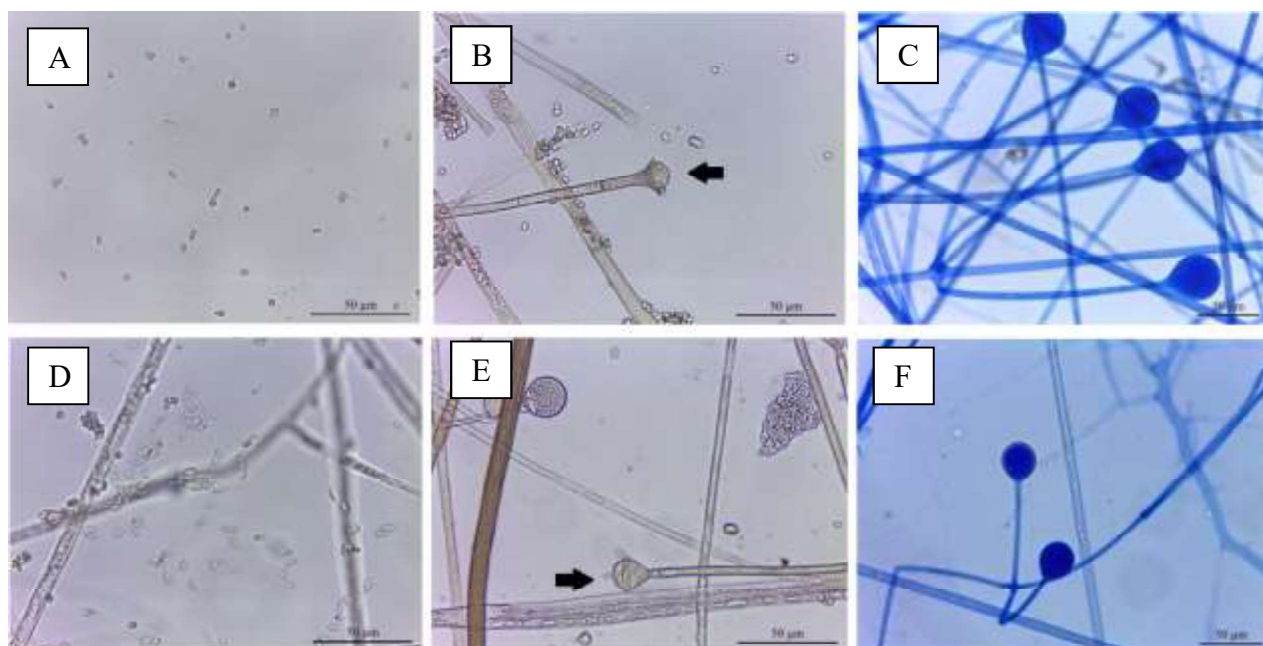


Figura 12 - *Absidia* do Parque Nacional do Catimbau. *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*: **A** - esporagiósporos cilíndricos; **B** - esporóforo portando columela com projeção; **C** - esporóforos em cacho. *Absidia* sp.: **D** - esporagiósporos cilíndricos; **E** - esporóforo portando columela com projeção; **F** - esporóforos surgindo em dois ramos.

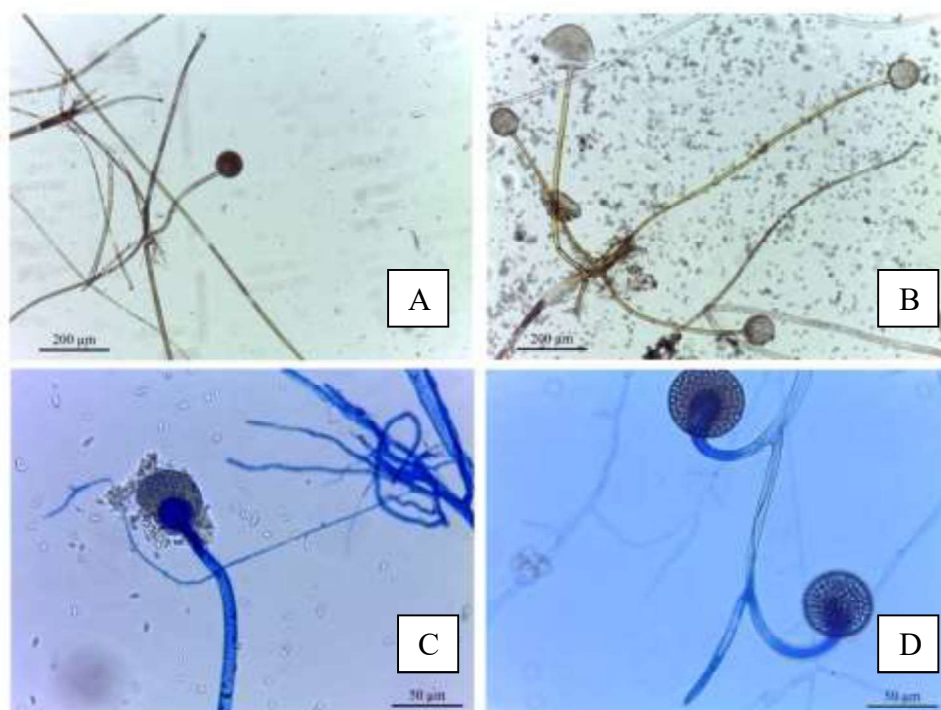


Figura 13 - Mucorales do Parque Nacional do Catimbau. Esporóforos: **A** – *Rhizopus microsporus*; **B** - *R. arrhizus*; **C** - *M. hiemalis*. **D** - *Circinella muscae*.

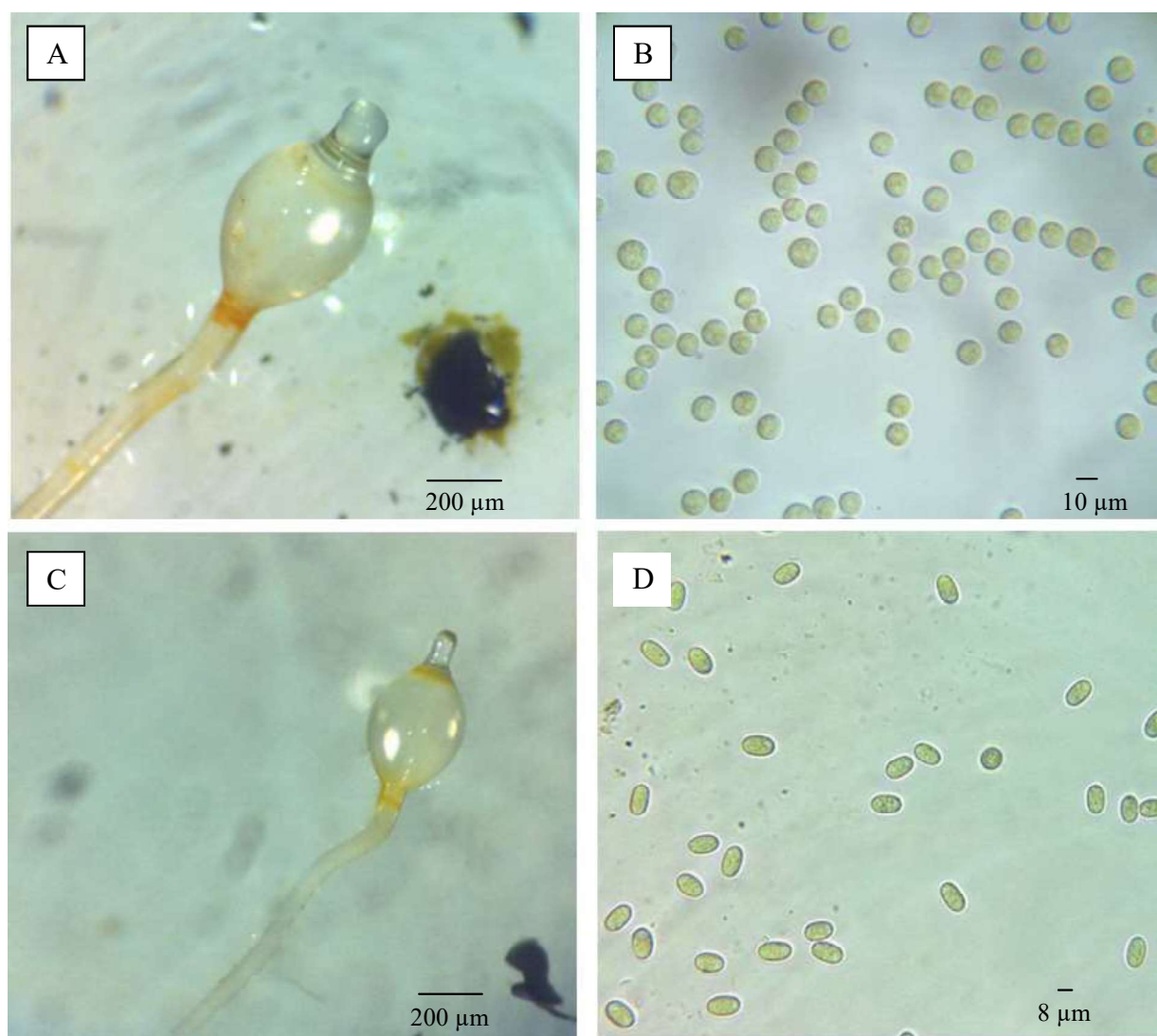


Figura 14 - *Pilobolus* de excremento de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau. *Pilobolus lentiger*: **A** - columela cilíndrica a levemente constricta; **B** - esporagiósporos globosos. *Pilobolus crystallinus*: **C** - columela mamiforme; **D** - esporagiósporos elipsóides.

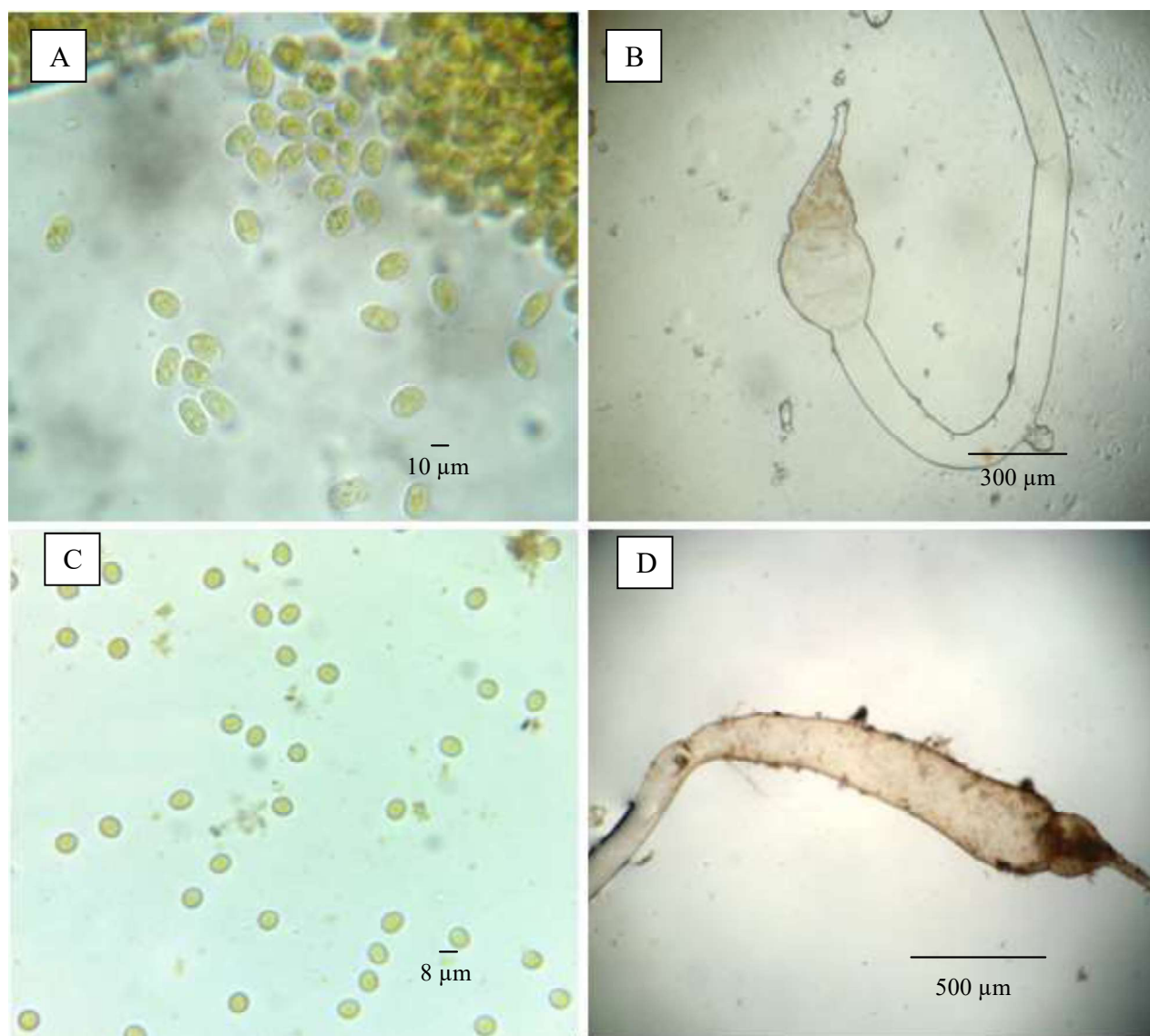


Figura 15 - *Pilobolus* de excremento de herbívoros do Parque Nacional do Catimbau. *Pilobolus kleinii*: **A** - esporagiósporos elipsóides amarelos; **B** - trofocisto ovóide-subgloboso. *Pilobolus longipes*: **C** - esporagiósporos; subglobosos para ovóides **D** - trofocisto longo.

4.3. Análise Molecular de *Absidia* sp.

Foi realizada a análise molecular de dois isolados de *Absidia* que não puderam ser confirmados pela morfolgia. De acordo com a árvore filogenética, construída com as sequências da região ITS do rDNA dos dois isolados sequenciados e com as sequências de *Absidia* obtidas no GenBank, foram produzidos dois clados: o primeiro contendo *Actinomucor elegans* e *Circinella minor* (grupo externo) e o segundo abrangendo as espécies de *Absidia*, incluindo os dois isolados sequenciados. Ambos os clados foram fortemente suportados (bootstrap = 1,00) segundo a análise Bayesiana. O último subclado basal (Bootstrap = 1,00) mostra os dois isolados, geneticamente separados dos demais (Clone 1 e Clone 2) (Figura 14).

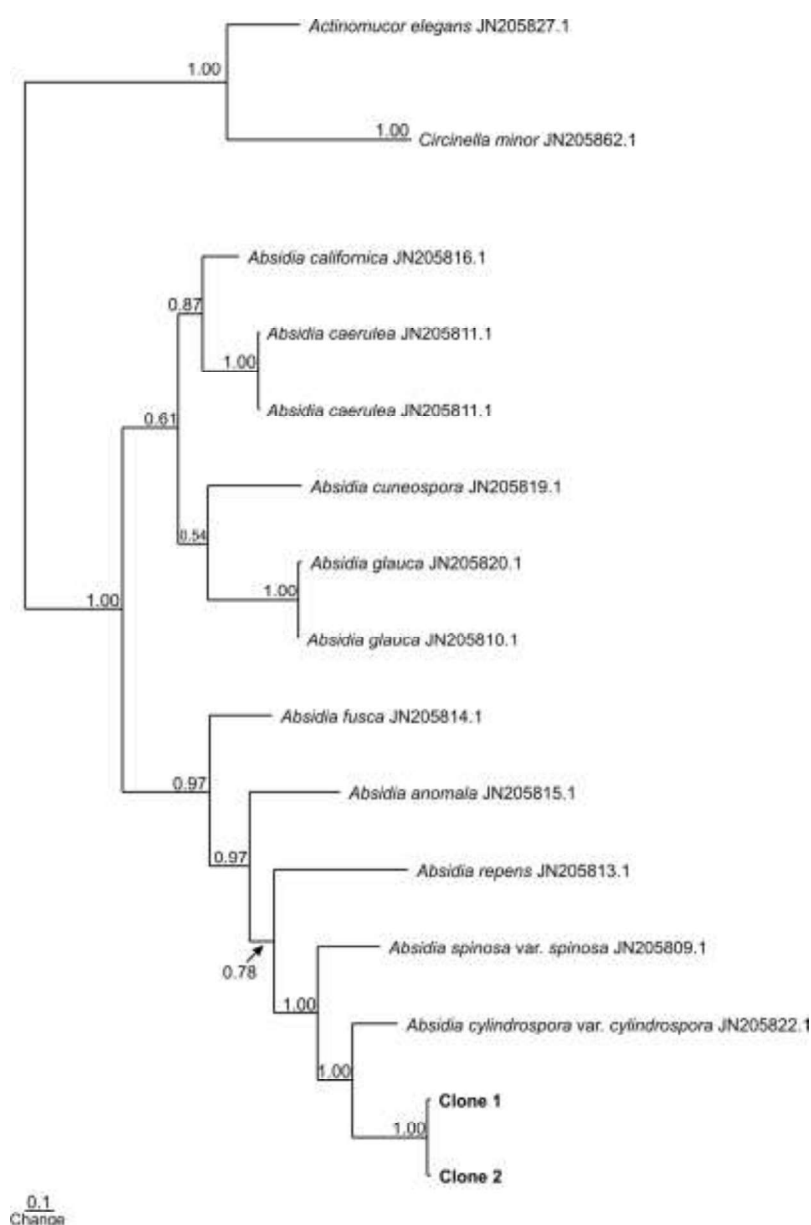


Figura 14 - Árvore filogenética de *Absidia* gerada a partir de sequências da região ITS do rDNA. *Actinomucor elegans* e *Circinella minor* foram utilizadas como grupo externo. Os valores de suporte são de análise Bayesiana (números

acima dos ramos). As sequências são seguidas pelos respectivos números de acesso no GenBank. As sequências correspondentes aos dois clones de *Absidia* sp. estão em negrito.

5 DISCUSSÃO

5.1 Mucorales de solos do Parque Nacional do Catimbau

Embora os estudos sobre ocorrência de fungos tenham apontado maior diversidade desses micro-organismos nos países tropicais (Alves *et al.*, 2002; Santiago *et al.*, 2013), a maioria dos relatos dos Mucorales têm sido fornecidos por pesquisadores da Alemanha, China, Estados Unidos, Inglaterra, Índia e Paquistão, provavelmente pelo maior número de taxonomistas do grupo presentes nesses países (Voigt *et al.*, 2009; Hoffmann *et al.*, 2013; Zheng *et al.*, 2007; Benny, 2012; Kirk, 1986; Misra *et al.*, 1979; Mirza *et al.*, 1979). Em relação ao Brasil, os estudos sobre a ocorrência dos Mucorales são fragmentados, estando concentrados na Bahia, Maranhão, Pernambuco e São Paulo (Upadhyay, 1969; Lira, 1971; Santiago & Souza-Motta, 2006; Souza, 2006; Souza *et al.*, 2008; Souza *et al.*, 2011; Santiago *et al.*, 2013).

Sendo os Mucorales em sua maioria sapróbios, seus representantes são pioneiros na colonização dos substratos, degradando moléculas simples (Richardson, 2009), o que torna o estudo da diversidade e ocorrência desse grupo imprescindível, visto que esses micro-organismos são extremamente importantes para manutenção de ecossistemas (Turco *et al.*, 1994; Santiago *et al.*, 2013). Embora apenas um estudo ecológico sobre os Mucorales em regiões de Caatinga tenha sido publicado no Brasil (Santiago *et al.*, 2013), relatos da ocorrência do grupo em regiões semiáridas (dados ainda não publicados) apontam que a riqueza dos Mucorales em solos desse bioma parece ser menor quando comparada à riqueza do grupo em solos de Mata Atlântica (Santiago & de Souza, 2013). Schoenlein-Crusius *et al.* (2006) isolaram 40 táxons e Trufem (1981a,b,c) isolou 24 táxons de Mucorales em solos de Mata Atlântica, enquanto no presente estudo foram isoladas apenas 13 táxons do grupo: *A. cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Absidia* sp., *C. elegans*, *C. echinulata*, *G. butleri*, *L. brasiliensis*, *L. hyalospora*, *L. ramosa*, *M. circinelloides*, *M. hiemalis*, *R. microsporus*, *R. arrhizus* e *S. racemosum*. Para a Caatinga, apenas 20 táxons de Mucorales foram reportados (Santiago & de Souza, 2013).

A maioria das espécies isoladas do Parque Nacional do Catimbau já havia sido observada no semiárido do Brasil. Oliveira *et al.* (2013) isolaram *A. cylindrospora*, *G. butleri*, *R. microsporus*, *R. arrhizus* (*R. oryzae*) e *S. racemosum* em uma área similar à caatinga arenosa (mesma vegetação e tipo de solo), na Chapada de São José, no Parque Nacional do Catimbau, embora o número de UFC/g de solo e a riqueza de espécies tenham sido inferiores ao observado nesse trabalho. A

utilização de diferentes técnicas de isolamento e de meios de cultura pelos autores supracitados, em comparação ao utilizado nesse estudo, pode explicar as diferenças encontradas. *Cunninghamella elegans* foi reportada em solos de Canindé de São Francisco e Jaguarari, Bahia, Brasil (Cavalcanti *et al.*, 2006; Santiago & Souza-Motta, 2006), enquanto *C. echinulata* foi observada em solos de Triunfo e Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (Santiago *et al.*, 2013a; Souza *et al.*, 2013). *Absidia cylindrospora*, *R. arrhizus*, *R. microsporus* e *S. racemosum* foram citadas nos solos de Canindé de São Francisco e Jaguarari (Bahia, Brasil), e Cabrobó e Belém de São Francisco, no estado de Pernambuco, Brasil (Santiago & Souza-Motta, 2006; Cavalcanti *et al.*, 2006; Santiago *et al.*, 2013a), corroborando os dados apresentados nesses estudos. Essas espécies também são comuns em solos de outros biomas brasileiros (Souza *et al.*, 2013).

Lichtheimia ramosa (*A. ramosa*) foi isolada no solo de Canindé de São Francisco (Cavalcanti *et al.*, 2006), enquanto *L. hyalospora* foi reportada em solos de Jaguarari, Triunfo, Cabrobó e Belém do São Francisco (Santiago & Souza-Motta, 2006; Santiago *et al.*, 2013a). *Lichtheimia brasiliensis* foi isolada em solos de Araripina, Pernambuco, Brasil (Santiago *et al.*, 2013b), sendo o segundo registro da espécie para o bioma de Caatinga. Esse gênero apresentou o maior número de táxons, dentre os isolados, porém com baixa distribuição. As espécies desse gênero são capazes de crescer bem em elevadas temperaturas (Hoffman *et al.*, 2013), e as que foram isoladas no presente estudo foram igualmente citadas em outros solos de Caatinga, mostrando serem comuns em regiões semiáridas e corroborando os resultados aqui expostos (Cavalcanti *et al.*, 2006; Santiago & Souza-Motta, 2006; Santiago *et al.*, 2013; Santiago *et al.*, 2014).

Mucor circinelloides e *M. hiemalis* estão dentre os táxons de Mucorales comumente isolados do solo (Domsch *et al.*, 2007), tendo sido reportados no Brasil em ecossistemas de Mata Atlântica (Schoenlein-Crusius & Milanez, 1997; Schoenlein-Crusius *et al.*, 2006; de Souza *et al.*, 2008). Essas espécies estão sendo reportadas pela primeira vez para o bioma de Caatinga, tendo ocorrido em fitofisionomias de caatinga *strico sensu*, caatinga arenosa e carrasco. *Absidia* sp. foi observada em todas as fitofisionomias estudadas. Essa espécie apresenta características morfológicas que a diferem dos outros táxons do gênero, como esporangiósporos e projeção na columela maiores do que os das outras espécies já descritas. Os isolados também produzem um pigmento marrom escuro em meio ágar malte a 25°C, fato não observado nas outras espécies do gênero, com exceção de *A. fusca*, que produz um pigmento da mesma cor, mas apenas quando incubada a 15°C (Hesseltine & Ellis, 1964). Além das diferenças morfológicas, a análise filogenética apontou diferenças genéticas entre *Absidia* sp. e os outros táxons do gênero, mostrando ser essa uma nova espécie para ciência.

A comunidade dos Mucorales do solo não apresentou diferenças estatísticas significativas com relação ao número de UFC entre os solos das diferentes áreas do Parque Nacional do Catimbau. No entanto, a diversidade e riqueza de Mucorales presente nos solos foram maiores no

carrasco do que as demais áreas, fato que pode estar relacionado a uma maior disponibilidade hídrica nessa fitofisionomia que se encontra nas regiões mais elevadas das chapadas, onde a precipitação fica retida, proporcionando uma maior riqueza de espécies de vegetais (Andrade *et al.*, 2004) e, provavelmente, de fungos. Porém, de acordo com os estimadores de riqueza, a caatinga arenosa e a caatinga *strico sensu* ainda podem apresentar um número maior de espécies do que o observado. Haley (1995) sugere que, para entender melhor as comunidades comuns as fitofisionomias presentes no bioma de Caatinga, além de conhecer algumas variáveis ambientais, como disponibilidade hídrica, também é preciso considerar o nível de erosão do solo, já que mudanças edáficas podem alterar a composição da comunidade de fungos do solo em determinadas paisagens (Lauber *et al.*, 2008).

Os resultados apontam que a riqueza de espécies e a diversidade dos Mucorales são maiores nos solos da área de caatinga *strico sensu* nativa, em relação à área antropizada, evidenciando que a antropização influencia na riqueza e diversidade dos Mucorales nesses solos, embora as diferenças dos números de UFC/g de solo entre essas áreas não sejam estatisticamente significativas. A atividade de pastoreio de caprinos, ovinos e bovinos vem provocando transformações irreversíveis nesse ecossistema, pois a utilização da Caatinga como pastagem extensiva vem causando a degradação da vegetação, diminuindo a diversidade florística (Alves, 2009). A redução da comunidade de plantas pode atenuar alguns fatores abióticos, como temperatura e teor de umidade no solo, interferindo de forma negativa na diversidade dos fungos (Raymundo & Tauk-Tornisielo, 1997). Além disso, a supressão do tapete herbáceo e o excesso de pisoteio, originado pelo pastoreio indiscriminado, geram fenômenos de erosão e decapitação dos solos, comprometendo a capacidade hídrica e tornando os solos compactados, favorecendo o escoamento superficial, trazendo sérias consequências para os geótopos e diversidade biológica desse ecossistema (Alves, 2009).

Em relação à distribuição dos Mucorales, todas as espécies foram raras, exceto *R. microsporus*, evidenciando ser ocasional em solos de países tropicais (Jennessen *et al.*, 2005). Como outras espécies do gênero, *R. microsporus* completa seu ciclo de vida com alta esporulação, disseminando-se rapidamente e abrangendo grande parte do substrato em que vive (Dolatabadi *et al.*, 2013). Salienta-se que, em uma comunidade, é comum existirem poucos táxons com alta frequência de ocorrência, enquanto a maioria possui uma baixa frequência e distribuição (Richardson, 2001; Santiago *et al.*, 2013). Apesar dos Mucorales estarem presentes no solo do semiárido, a ocorrência do grupo é bem inferior, quando comparada aos demais fungos filamentosos. Oliveira *et al.* (2013) verificaram uma baixa distribuição e ocorrência dos Mucorales, com apenas 10% dentre os fungos isolados do solo do semiárido. Em relação aos Mucorales do semiárido, a baixa precipitação pode ser um fator determinante para os baixos números obtidos, já

que a umidade do solo regula as variações das comunidades fúngicas e limitam o seu desenvolvimento (Souto *et al.*, 2008).

Em termos de composição de espécies, foram semelhantes os solos das áreas de carrasco e de caatinga arenosa (69,13%), bem como os solos das caatingas *strictu sensu* nativa e antropizada (60,18%). Esse resultado era esperado, já que a riqueza e a diversidade fúngica podem ser estimadas diretamente pela comunidade de plantas (Schmit & Mueller, 2006). O carrasco e a caatinga *strico sensu* apresentam uma flora bem diferenciada, enquanto a caatinga arenosa compartilha composição florística com ambas fitofisionomias, mas está em altitude mais próxima do carrasco (Andrade *et al.*, 2004). Além de fatores edáficos e condições climáticas, variações de altitude também influenciam em mudanças na rizosfera, assim como nas comunidades microbianas (Pandey & Palni, 2007).

5.2 Mucorales de excrementos do Parque Nacional do Catimbau

Estudos descrevendo a ocorrência de fungos coprófilos em excrementos de diferentes animais têm sido realizados no Brasil (Batista, 1948; Batista *et al.*, 1961a, b; Trufem, 1984; Trufem & Viriato, 1985; Viriato & Trufem, 1985; Richardson, 2001b; Alves *et al.*, 2002; Santiago *et al.*, 2011). No entanto, esse é o primeiro relato de Mucorales presentes em excremento de herbívoros do semiárido. Onze táxons de Mucorales foram isolados dos excrementos de bovino, caprino e ovino do Parque nacional do Catimbau: *A. cylindrospora* var. *cylindrospora*, *C. muscae*, *L. ramosa*, *M. hiemalis*, *P. crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger*, *P. longipes*, *R. arrhizus*, *R. microsporus* e *S. racemosum*. Todos os táxons observados nesse trabalho foram reportados por outros autores em diferentes animais, o que indica que não existe uma especificidade dos Mucorales isolados nesse estudo pelo excremento de um único animal. *Circinella muscae*, *M. hiemalis*, *P. crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger*, *P. longipes*, *R. arrhizus* e *S. racemosum*, isoladas nesse estudo, foram verificadas nos excrementos de oito herbívoros da Reserva Ecológica Dois Irmãos, Recife, Pernambuco (Santiago *et al.*, 2011) e *L. ramosa* (*A. ramosa*), *C. muscae*, *M. hiemalis*, *P. crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger* e *P. longipes* foram reportadas em excrementos de 11 herbívoros da Fundação Parque Zoológico do Estado de São Paulo, Brasil (Trufem, 1984; Trufem & Viriato, 1985). *Mucor hiemalis* foi relatada em excrementos de cabra por Alves *et al.* (2002) no Recife, Pernambuco, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora* e *R. microsporus* estão sendo reportadas pela primeira vez em excrementos de herbívoros, sendo as duas espécies comumente isoladas de solos (Domsch *et al.*, 2007). De acordo com Krug *et al.* (2004), *Absidia*, *Circinella*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum* podem apresentar espécies coprófilas ou não. Como vários táxons desses gêneros são comumente isolados do solo, a

presença deles pode ocorrer devido à contaminação do excremento com esse substrato (Domsch *et al.*, 2007).

Pilobolus foi mais representativo em número de espécies, apresentando quatro táxons. É um gênero exclusivamente coprófilo e bastante comum na maioria dos excrementos (Krug *et al.*, 2004). Existem vários relatos da ocorrência de espécies desse gênero no Brasil (Batista, 1948; Batista & Pontual, 1948; Trufem, 1984; Trufem & Viriato, 1985; Richardson, 2001a; Alves *et al.*, 2002; Viriato, 2003; Santiago *et al.*, 2011). A riqueza de *Pilobolus* nos excrementos estudados é corroborada pelos trabalhos Batista (1948) e Batista & Pontual (1948), que obtiveram *P. crystallinus*, *P. kleinii* e *P. longipes*, em bovinos, e por Richardson (2001a, 2001b) que observou *P. crystallinus*, *P. kleinii* em bovinos e *P. crystallinus*, *P. kleinii* e *P. lentiger* em ovinos. Alves *et al.* (2002) estudaram excrementos de cabras, mas apenas objetivaram a observação de táxons de *Mucor*, não sendo relatada nenhuma espécie de *Pilobolus*, enquanto no presente estudo foi observada apenas *P. crystallinus* para esse excremento. Esse trabalho cita a primeira ocorrência de *P. crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger* e *P. longipes* para o bioma de Caatinga.

Syncephalastrum racemosum e *P. kleinii* foram os táxons mais frequentes nos excrementos avaliados, sendo o primeiro observado em maior frequência em relação ao reportado por Santiago *et al.* (2011). Sendo *S. racemosum* comum em solos do semiárido (Santiago & Souza-Motta, Oliveira *et al.*, 2013; 2006; Santiago *et al.*, 2013) a presença dessa espécie nos excrementos pode ser originada do contato do excremento com o solo. *Pilobolus kleinii* é conhecida pela sua elevada frequência em excrementos (Richardson, 2001a; Nyberg & Persson, 2002).

A composição das espécies foi mais similar entre os excrementos de caprinos e ovinos, embora não tenha sido verificada diferença significativa da riqueza entre os excrementos dos três animais. Os animais compartilham uma preferência de espécies vegetais no forrageio (Alves, 2009), porém não há como afirmar se existe uma correlação com a composição de Mucorales presente nos excrementos. Em relação à riqueza dos Mucorales, os resultados desse estudo evidenciaram um número de táxons bem inferior ao verificado por Santiago *et al.*, (2011), que obteve 39 táxons e ao reportados por Trufem & Viriato (1985) e Viriato & Trufem (1985), que obtiveram 23 táxons. Porém, o presente estudo foi realizado em um bioma que apresenta condições extremas em relação a outros biomas, como alta temperatura e radiação solar, baixa umidade relativa e elevada taxa evapotranspiração (Prado, 2003). De acordo com Pasricha *et al.* (1994), fatores nutricionais são determinantes na riqueza e composição da micota. Entretanto, outras variáveis, como localização geográfica, teor de umidade e temperaturas elevadas também podem influenciar na comunidade de fungos dos excrementos (Caretta & Piontelli, 1996; Ebersohn & Eicker, 1997; Richardson, 2001a; Santiago *et al.*, 2011).

6 CONCLUSÕES

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

- No Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil, a comunidade de Mucorales do solo está representada por 13 espécies de Mucorales;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Absidia* sp., *Cunninghamella elegans*, *C. echinulata*, *Lichtheimia brasiliensis*, *Mucor circinelloides*, *Rhizopus arrhizus*, *R. microsporus* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales na área de caatinga *stricto sensu* nativa;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Absidia* sp., *C. echinulata*, *Rhizopus arrhizus*, *R. microsporus* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales na área de caatinga *stricto sensu* antropizada;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Absidia* sp., *C. elegans*, *L. brasiliensis*, *L. hyalospora*, *L. ramosa*, *M. hiemalis*, *M. circinelloides*, *Rhizopus arrhizus*, *R. microsporus* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales no carrasco;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Absidia* sp., *Gongronella butleri*, *L. ramosa*, *M. hiemalis*, *M. circinelloides*, *Rhizopus arrhizus*, *R. microsporus* e *S. racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales na área de caatinga arenosa;
- Não existem diferenças entre o número de UFC de Mucorales por grama de solo entre as áreas do Parque Nacional do Catimbau;
- *Rhizopus microsporus* é o táxon de Mucorales mais frequente e ocasional nos solos do Parque Nacional do Catimbau enquanto as demais espécies de Mucorales são raras;
- Em relação à composição de Mucorales, os solos de carrasco e caatinga arenosa são mais similares;
- A diversidade e riqueza de Mucorales em solos de carrasco são mais elevadas
- caatinga *stricto sensu* antropizada apresenta uma baixa riqueza e diversidade de Mucorales.
- *Mucor circinelloides* e *M. hiemalis* são 1ª ocorrência no bioma de Caatinga;
- *Absidia* sp. é uma nova espécie para ciência;
- No Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco, Brasil, a comunidade de Mucorales de excremento está representada por 11 espécies de Mucorales;

- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Lichtheimia ramosa*, *Pilobolus crystallinus*, *P. kleinii*, *P. longipes* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales em excrementos de bovinos no Parque Nacional do Catimbau;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Circinella muscae*, *Mucor hiemalis*, *Lichtheimia ramosa*, *Pilobolus crystallinus*, *Rhizopus Arrhizus*, *R. microsporus* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales em excrementos de caprinos no Parque Nacional do Catimbau;
- *Mucor hiemalis*, *Lichtheimia ramosa*, *Pilobolus crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger*, *P. longipes*, *Rhizopus Arrhizus*, *R. microsporus* e *Syncephalastrum racemosum* fazem parte da comunidade de Mucorales em excrementos de ovinos no Parque Nacional do Catimbau;
- *Pilobolus kleinii* é o táxon de Mucorales mais frequente em excrementos no Parque Nacional do Catimbau;
- A composição de Mucorales é mais similar entre excrementos de caprino e ovino;
- Não existe diferença na riqueza de espécies de Mucorales entre os excrementos de bovinos, caprinos e ovinos no Parque Nacional do Catimbau;
- *Pilobolus crystallinus*, *P. kleinii*, *P. lentiger* e *P. longipes* são a 1ª ocorrência em excrementos de herbívoros no bioma de Caatinga;
- *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora* e *R. microsporus* são reportadas pela primeira vez em excrementos de herbívoros.

REFERÊNCIAS

- Ainsworth, G.G. 1971. *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi*. Ed 6- C.M.I., Kew
- Alexander, M. 1977. *Introduction to soil microbiology*. John Wiley, New York.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C. W., Blackwell, M. 1996. *Introductory Mycology*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, pp 870.
- Alvarez, E.D. 2013. El Subphylum Mucoromycotina: generalidades y aspectos taxonómicos recientes (Mucoromycotina Subphylum: overview and recent taxonomic aspects). *Boletín micológico*. 28 (1): 16-25.
- Alves M.H., Trufem, S.F.B., Milanez, A.I. 2002. Táxons de *Mucor* Fresen. (Zygomycota) em fezes de herbívoros, Recife, PE, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 25 (2): 147- 160.
- Alves, M.A., Campos-Takaki, G.M., Okada, K., Pessoa, I.H.F., Milanez, A.I. 2005. Detection of extracellular protease in *Mucor* species. *Revista Iberoamericana de Micologia* 22: 114-117.
- Alves, J.J.A. 2009. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga* 22, (3): 126-135.
- Andrade-Lima, D. 1981. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica* 4(2): 149-153.
- Andrade, K.V.S.A., Rodal, M.J.N., Lucena, M.F.A., Gomes, A.P.S. 2004. Composição florística de um trecho do Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco- Brasil. *Hoehnea* 31(3): 337-348.
- Bartnicki-Garcia, S. 1963. Symposium on biochemical bases of morphogenesis in fungi. mold-yeast dimorphism of mucor. *Bacteriol. Rev.* 2.
- Batista, A.C. 1948. *Pilobolus crystallinus* (Wiggs) Tode. *Boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio* 15: 1-6.
- Batista, A.C, Fishman, O., Vasconcelos, C.T., Rocha, I.G. 1961a. Leveduras e outros fungos das fezes de ovinos, caprinos, suínos, galináceos e animais cativos, no Recife. *Boletim do Instituto de Micologia da Universidade do Recife* 327: 1-27.
- Batista, A.C., Vasconcelos, C.T., Fischman, O., Silva, J.O. 1961b. Flora micótica intestinal de eqüinos e asininos, no Recife. *Boletim do Instituto de Micologia da Universidade do Recife* 326: 116.
- Benjamin, R.K. & Mehrotra, B.S. 1969. Obligate azygospore formation in two species of *Mucor* (Mucorales). *Alisio* 2: 235-245.
- Benjamin, R.K. 1979. Zygomycetes and their spores. in Kendrick B (ed.), *The Whole Fungus*. Ottawa, Nat. National Museum of Natural Science 2: 573-622.
- Benny, G.L. 1982. Zygomycetes. in Benny GL (ed.). *Synopsis and Classification of Living Organisms*. McGraw - Hill Book Co. Inc., New York. pp 184-195
- Benny, G.L., Humber, R.A., Morton, J.B. 2001. The Zygomycota: Zygomycetes. in McLaughlin DJ, McLaughlin EG, Lemke PA (eds.), *The Mycota*. Systematics and Evolution. Berlin, Springer-Verlag. pp 184-195.
- Benny, G.L. 2008. The methods used by Dr. R.K. Benjamin, and other Mycologists to isolate Zygomycetes. *Aliso* 26: 37-61.
- Benny, G.L. 2009. Zygomycetes. Publicado na Internet em <http://www.zygomycetes.org>.
- Benny, G.L. 2012. Current systematics of the zygomycotan fungi with a brief discussion of their biology. In: Misra JK, Tewari JP, Deshmukh SK (eds), *Systematics and evolution of fungi*. Progress in mycological research. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA. pp : 55–105.

- Bills, G.F., Christensen, M., Powell, M., Thorn, G. 2004. Saprobiic soil fungi. In: Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M. S. Inventory and monitoring methods. *Biodiversity Fungi*. pp 271-302.
- Blackwell, M. 2011. The Fungi: 1,2,3...5.1 million species?. *American Journal of Botany* 98(3): 426–438.
- Blair, J.E. 2009. Fungi. In: Hedges SB, Kumar S (eds), *The timetree of life*. pp 215–219.
- Boedijn, K.B. 1959. Notes on the Mucorales of Indonesia. *Sydowia* 12: 321-362.
- Bridge, P & Spooner, B. 2001. Soil Fungi: Diversity and detection. *Plant of soil*. 232: 147-154.
- Brown, J. C. 1958. Soil Fungi of Some British Sand Dunes in Relation to Soil Type and Succession. *Journal of Ecology* 46(3): 641-664.
- Caretta, G., Piontelli, E. 1996. Coprophilous fungi from confined deers in Pavia (Lombardia, Italy). *Boletim Micológico* 11: 41–50.
- Caretta, G., Piontelli, E., Savino, E., Bulgheroni, A. 1998. Some coprophilous fungi from Kenya. *Mycopathologia* 142: 125–134.
- Cavalcanti, M.A.Q., de Oliveira, L.G., Fernandes, M.J., Lima, D.M. 2006. Fungos filamentosos isolados do solo em municípios da região Xingó, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 20: 831-837.
- Cavalcanti, N. de Brito. Resende, G. Milanez de. 2006. Consumo do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) por caprinos na época da seca no semi-árido de Pernambuco. *Revista Caatinga* 19(4): 402-408.
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. 2006. Primer v.6 User Manual\Tutorial. Primer-E Ltd, Plymouth.
- Cordeiro Neto, F., Perssoni, R.A.B., Figueiredo-Ribeiro, R.C.L. 1997. Fungos produtores de inulinas isolados da rizosfera de Asteraceae herbácea do cerrado (Mogi- Guaçu, SP, Brasil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21: 149-153.
- Coutinho, f. P., Cavalcanti, M. A. Q., Yano-melo, A. M. 2009. Filamentous fungi isolated from the rhizosphere of melon plants (*Cucumis melo* L. cv. Gold Mine) cultivated in soil with organic amendments. Scientific Note. *Acta Botanica Brasilica*. 292-298.
- de Souza, J. I.; Schoenlein-Crusius, i. H.; Oliveira, l. H. S. 2008. Selected species of Mucorales from soil contaminated with toxic metals in São Paulo satte, Brazil. *Mycotaxon* 106: 273-288.
- de Souza, J. I. et al. 2011. Zygomycetes from “Reserva Biológica de Mogi Guaçu”, São Paulo State, Brazil. *Mycotaxon* 116: 303-312.
- Dennis, C. 1983. Soft fruits. In: Dennis C (ed), *Post-harvest pathology of fruits and vegetables*. pp 23–42.
- Dix, N.J., Webster, J. 1995. *Fungal ecology*. Chapman & Hall, London.
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H. 1993. *Compendium of soil fungi*. 1. Academic Press, San Francisco.
- Domsch, K.H., Gams, W., Anderson, T.H., 2007. *Compendium of Soil Fungi*. IHW-Verlag, San Francisco.
- Dolatabadi, S., Walther, G., Gerrits, A. H. G., Ende, van den., de Hoog, G. S. 2013. Diversity and delimitation of *Rhizopus microsporus*. *Fungal Diversity*. DOI 10.1007/s13225-013-0229-6.
- Drumond, M.A., Kiill, L.H.P., Nascimento, C.E.S. 2002. Inventário e sociabilidade de espécies arbóreas e arbustivas da Caatinga na Região de Petrolina, PE. *Brasil Florestal* 74, 37-43.
- Ebersohn, C., Eicker, A. 1997. Determination of the coprophilous fungal fruit body successional phases and the delimitation of species association classes on dung substrates of African game animals. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 38: 183- 190.
- Fatma, F.M. 2003. Distribution of fungi in the sandy soil in Egyptian beaches. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 6(10): 860–866.
- Foos, M.K., Rakestraw, J.B. 1985. A survey of *Pilobolus* from Lake County, Ohio. *Ohio Journal of Science* 85 (3):137-138.
- Foos, M.K., Royer, J.A. 1989. A survey of *Pilobolus* from Yellowstone National Park. *Mycotaxon* 34 (2): 395-397.
- Gams, W. 2007. Biodiversity of soil- inhabiting fungi. *Biodiversity and Coservation* 16: 69-72.

- Góes-Neto, A., Loguercio-Leite, C., Guerrero, R.T., 2005. DNA extraction from frozen field collected and dehydrated herbarium fungal basidiomata: performance of SDS and CTAB- base methods. *Biotemas* 18: 19-32.
- Gomes, D.N.F., Cavalcanti, M.A.Q., Fernandes, M.J.S., Lima, D.M.M., Passavante, J.Z.O. 2008. Filamentous fungi isolated from sand and water of Bairro Novo and Casa Caiada beaches, Olinda, Pernambuco, *Brazilian Journal of Biology* 68(3): 577-582.
- Grove, W.B. 1934. A systematic account and arrangement of the Pilobolidae. in Buller AHR (ed.), *Researches on Fung.* Vol 6. London, Longmans Green and Co. pp 191-224.
- Gusmão, I. F. P.; Barbosa, f. R.; Barbosa, F. F. 2006. Fungos Conídias. In: Gusmão LFP; Maia LC. (Org.). *Diversidade e caracterização dos fungos no semi-árido. Vol 1.* Ed. Recife: Associação Plantas do Nordeste, pp: 27-47.
- Hawksworth, D.L., Kirk, P.M., Sutton, B.C., Pegler, D.N. 1995. *Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi.* 8. ed. UK, Wallingford: CAB international.
- Hesseltine, C.W., and J. J. Ellis. 1964. The genus *Absidia*: *Gongronella* and cylindrical-spored species of *Absidia*. *Mycologia* 56: 568-601.
- Hesseltine, C.W. 1986. Zygomycetes in food fermentation. *Mycologist* 5: 162-169.
- Hesseltine, C.W., Fennel, D.I. 1995. The genus *Circinella*. *Mycologia* 7, 193-211.
- Hill, G.T., Mitkowski, N.A., Aldrich- Wolfe, L., Emele, L.R., Jurkonie, D.D., Ficke, A., Maldonado-Ramirez, S., Lynch, S.T., Nelson, E.B. 2000. Methods for assessing the composition and diversity of soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 15, 25-36.
- Hoffmann, K., Discher, S., Voigt, K., 2007. 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* 111: 1169-1183.
- Hoffmann, K., Voigt, K., Kirk, P.M. 2011. Mortierellomycotina subphyl. nov., based on multi-gene genealogies. *Mycotaxon* 115(1): 353–363.
- Hoffmann, K., Pawłowska, J., Walther, G., Wrzosek, M., Hoog, G.S., Benny, G.L., Kirk, P.M., Voigt, K. 2013. The family structure of the Mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. *Persoonia* 30: 57–76.
- Hu, F.M., Zheng, R.Y., Chen, G.Q. 1989. A redelimitation of the species of *Pilobolus*. *Mycosystema* 2: 111-133.
- James, T.Y et al. 2006. Reconstructing the early evolution of the fungi using a six gene phylogeny. *Nature* 443: 818–822.
- Jennessen J, Nielsen, K.F., Houbraken, J., Lyhne, E.K., Schnurer, J., Frisvad, J.C., Samson, R.A. 2005. Secondary metabolite and mycotoxin production by the *Rhizopus microsporus* group. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:1833–1840.
- Jesus, J. S.; Ribeiro, E. M. S.; Ferraz, E. M. N. 2008. Interpretação ambiental no bioma da caatinga: potencialidades para o ecoturismo no Parque Nacional do Catimbau, Buíque, Pernambuco. *Revista Nordestina de Ecoturismo* 1: 1.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symp Ser* 41:95–98.
- Harley, R.M. 1995. Introduction In: Stannard, B.L (ed) *Flora of Pico da Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil.* Royal Botanic Gardens. Kew, 336-363.
- Hibbett, D.S et al 2007. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research* 3: 509-547.
- Kavadia, A., Komaitis, M., Chevalot, I., Blanchard F, Marc I, Aggelis G. 2001. Lipid and linolenic acid accumulation in strains of Zygomycetes growing on glucose. *Journal of American Oil Chemists' Society* 78: 341–346.
- Kendrick, W.B. 1962. Soil Fungi of a Copper Swamp. *Canadian Journal of Microbiology* 8(5): 639-647.
- Kendrick, B. 2000. *The Fifth Kingdom.* 3 ed. Mycologue publications.

- Kirk, P.M. 1986. Proposal to conserve *Mucor* Fresenius over *Mucor* Micheli ex L. and Proposal to conserve *Rhizopus* Ehrenberg over *Ascothoria* Tode (Fungi) with notes on the nomenclature and taxonomy of *Mucor*, *Ascothoria*, *Hydrothoria* and *Rhizopus*. *Taxon* 35:371-377.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., David, J.C., Stalpers, J. 2001. *Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi*. 9th ed. CAB International, Wallingford, UK.
- Kirk, P.M., Cannon, P.F., Minter, D.W., Stalpers, J.A. 2008. *Dictionary of the Fungi*, 10th ed. CABI, Wallingford, UK.
- Krings, M., Taylor, T.N., Dotzler, N. 2013. Fossil evidence of the zygomycetous fungi. *Persoonia*. 30: 1-10.
- Krug, J.C., Benny, G.L. e Keller, H.W. 2004 Coprophilous fungi. In: Biodiversity of Fungi (eds. G.M. Mueller, G.F. Bills e M.S. Foster). *Elsevier* 468-499.
- Lacaz C.S., Porto E., Martins, J.E.C.M., Heis-Vaccari, E.M., Melo, N.T. 2002. Tratado de micologia médica. Lacaz. 9º ed, *Sarvier*, São Paulo.
- Lauber, C.L., Strickland, M.S., Bradford, M.A., Fierer, N., 2008. The influence of soil properties on the structure of bacterial and fungal communities across land-use types. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 2407-2415.
- Larkin, M.A., Blackshields, G., Brown, N.P., Chenna, R., McGettigan, P.A., McWilliam, H., Valentin, F., Wallace, I.M., Wilm, A., Lopez, R., Thompson, J.D., Gibson, T.J., Higgins, D.G. 2007. Clustal Wand Clustal X version 2.0. *Bioinformatics* 23:2947-2948.
- Lemos, J.R., Rodal, M.J.N. 2002. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho de vegetação de caatinga no Parque Nacional da Serra da Capivara, Piauí, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 16: 23-42.
- Lira, N.P. 1971. Espécies de *Absidia* do solo do Maranhão. *Bol Inst Micol Univ Rec.* 657:1-6.
- Maia, L.C. 1998. Diversidade de fungos e líquens e sucessão fúngica na Reserva Ecológica de Dois Irmãos. In: I. C. Machado; A.V. Lopes & K. C. Pôrto (eds.). *Reserva Ecológica de Dois Irmãos: estudos em um remanescente de Mata Atlântica em área urbana* (Recife-Pernambuco-Brasil) pp: 85-113.
- Magnuson, J.K., Lasure, L.L. 2004. Organic Acid Production by Filamentous Fungi. in Tkacz JS, Lange L (eds.), *Advances in fungal biotechnology for industry, agriculture, and medicine*. 307-340,
- McCarthy, S.P. 2000. A coprophilous fruiting sequence on equine dung from Armidale, New South Wales. *Australasian Mycologist* 19 (1): 10-13.
- Michereff, S. J., Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. 2005. (Eds.) *Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais*. ISBN 85-87459-09-0. Recife, UFRPE.
- Misra, P.C., K.J. Srivastava, and K. Lata. 1979. *Apophysomyces*, a new genus of the Mucorales. *Mycotaxon* 8:377-382.
- Mirza, J.H., Khan, S.M., Begum, S., Shagufta, S. 1979. *Mucorales of Pakistan*. University of Agriculture, Faisalabad
- Moreira, F. M. S & Siqueira, J. O. 2002. Ecologia do solo In: Moreira, F. M.S; Siqueira, J. O. (Eds.). *Microbiologia e Bioquímica do Solo* 81- 152.
- Mouchacca, J. 2005. Mycobiota of the arid Middle East: check-list of novel fungal taxa introduced from 1940 to 2000 and major recent biodiversity titles. *Journal of Arid Environments* 60: 359-387.
- Nagy LA, Harrower KM. 1979. Analysis of two southern hemisphere coprophilous fungus successions. *Transactions of the British Mycological Society* 67 (2): 69-74.
- Nand K, Mehrotra BS. 1968. Species of *Pilobolus* and *Pilaira* from India. *Sydowia* 22: 299-306.
- Nand K, Mehrotra BS. 1977. Species of *Pilobolus* and *Pilaira* from India. *Sydowia* 30: 283-289.
- Nyberg Å, Persson IL. 2002. Habitat differences of coprophilous fungi on moose dung. *Mycological Research* 106 (11): 1360-1366.
- Nout, M.J.R., Kiers, J.L. 2005. Tempe fermentation, innovation and functionality: update into the third millennium. *Journal of Applied Microbiology* 98: 789-805.

- Nováková, A. 2001. Soil saprotrophic micromycetes in Norway spruce forest in the Sumava National Park. *Vimperk* 7: 177-184.
- O'Donnell, K.L. 1979. *Zygomycetes in culture*. University of Georgia, Georgia.
- O'Donnell, K., Lutzoni, F.M., Ward, T.J., Benny, G.L. 2001. Evolutionary relationships among mucoralean fungi (Zygomycota): evidence for family polyphyly on a large scale. *Mycologia* 93: 286-297.
- Oliveira, L.G., Cavalcanti, M.A.Q., Fernandes, M.J.S., Lima, D.M.M. 2013. Diversity of filamentous fungi isolated from the soil in the semiarid area, Pernambuco, Brazil. *Journal of Arid Environments* 95: 49-54.
- Orlowski, M. 1991. *Mucor* Dimorphism. *Microbiological Reviews* 55(2): 234-258.
- Partida-Martinez, L.P., Hertweck, C. 2005. Pathogenic fungus harbors endosymbiotic bacteria for toxin production. *Nature* 437: 884-888.
- Pasricha, R., Kumar, R.N. e Mukerji, K.G. 1994. Effect of water stress on growth and sporulation of coprophilous fungi. *Nova Hedwigia* 59 (1-2): 157-162.
- Paula, M.D., Oliveira, M.D., Santos, C.I.R., Almeida-Cortez, J.S. 2011. Herbivory Rate on Woody Species of the Caatinga and NDVI as Indicators of Plant Stress. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4: 909-921.
- Piontelli, E., Santa-Maria, A.T., Garetta, G. 1981. Coprophilous fungi of the horse. *Mycopathologia* 74: 89-115.
- Prado, D.E. 2003. As Caatingas da America do Sul. In : Leal, I.R., Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (orgs). *Ecologia e Conservação da Caatinga*. pp 3-74.
- Prade, C. A. et al. 2006. Diversidade de fungos filamentosos e microscópicos do solo em uma plantação de *Hovenia dulcis* Thumb. *Biociências* 14(2):101-106.
- Prade, C. A. 2007. Diversidade de fungos do solo em sistemas agroflorestais de citrus com diferentes tipos de manejo no município de Roca Sales, Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências* 15 (1): 73-81.
- Pereira, F. O. et al. 2010. Microbiota fúngica do solo e ar atmosférico na região da Borborema, Estado da Paraíba, Brasil. *RBAC* 42(2): 123-126.
- Ribes, J.A., Vanover-Sams, C.L., Baker, D.J. 2000. Zygomycetes in human disease. *Clinical Microbiology Reviews* 13: 236-301.
- Richardson MJ. 2001a. Diversity and occurrence of coprophilous fungi. *Mycological Research* 105 (4): 387-402.
- Richardson MJ. 2001b. Coprophilous Fungi from Brazil. *Brazilian archives of biology and technology* 44 (3): 283-289.
- Richardson M.J. 2008. Records of Coprophilous Fungi from the Lesser Antilles and Puerto Rico. *Caribb. Journal of Science* 44(2): 206-214.
- Richardson, M. 2009. The ecology of the Zygomycetes and its impact on environmental exposure. *Clinical Microbiology and Infection* 15: 2-9.
- Rodal, M.J.N., Andrade, K.V., de S.A., Sales, M.F., Gomes, A.P.S. 1998. Fitossociologia do componente lenhoso de um refúgio vegetacional no município de Buíque, Pernambuco. *Revista Brasileira de Biologia* 58(3): 517-526.
- Roden, M.M., Zautis, T.E., Buchanan, W.L., Knudsen, T.A., Sarkisova, T.A., et al. 2005. Epidemiology and outcome of zygomycosis: a review of 929 reported cases. *Clinical Infectious Diseases* 41: 634-653.
- Ronquist, F., Huelsenbeck, J.P. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19:1572-1574.
- Santos, V.B., Wellbaum, C., Schoenlein-Crusius, I.H., 1998. Fungos filamentosos do solo da Ilha dos Eucaliptos na represa do Guarapiranga em São Paulo, SP. *Acta Botanica Brasilica* 12(1): 101-110.
- Santiago, A.L.C.M.A., Souza-Motta, C.M. 2006. Mucorales isolados do solo de mineração de cobre e produção de amilase e inulinase. *Acta Botanica Brasilica* 20: 641-647.

- Santiago, A. L. C. M. A., Souza-Motta, C. M. 2008. Isolation of Mucorales from processed maize (*Zea mays* L.) and screening for protease activity. *Brazilian Journal of Microbiology* 39(4): 698-700.
- Santiago, A.L.C.M.A., Cavalcanti, M.A.Q., Trufem, S.F.B. 2008. *Pilobolus* (Mucoraceae) from herbivore dung in Recife, Pernambuco, Brazil. *Mycotaxon* 104: 111-122.
- Santiago, A.L.C.M.A., Trufem, S.F.B., Malosso, E., Santos, P.J.F., Cavalcanti, M.A.Q. 2011. Zygomycetes from herbivore dung in the ecological reserve of Dois Irmãos, Northeast Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology* 42 (1).
- Santiago, A.L.C.M.A., Santos, P.J.P., Maia, L.C. 2013a. Mucorales from the semiarid of Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*. 1678-4405.
- Santiago, A.L.C.M.A., Hoffmann, K., Lima, D.X., de Oliveira, R. J. V., Vieira, H.E. E., Malosso, E, Maia, L.C., da Silva, G. A. 2013b. A new species of *Lichtheimia* (Mucoromycotina, Mucorales) isolated from Brazilian soil. *Mycological Progress*.
- Santiago, A.L.C.M.A.; de Souza, J.I. 2013. Mucorales in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB120276>)
- Schmit, John P., Mueller, G.M. 2006. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodiversity and Conservation* 16: 99–111.
- Silva, R.A., Santos, A.M.M., Tabarelli, M. 2003. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: *Ecologia e conservação da caatinga*. p 356.
- Silva, M.H., Filho, L.O.C., Oliveira, A.F.M., Almeida-Cortez, J.S. 2011. Ocorrência de galhas em espécies de Croton do Parque Nacional Vale do Cantibau (PE). *Revista Brasileira de Geografia Física* 3: 510-519.
- Simões, m. L. G.; Tauk-tornisielo, S. M. 2005. Comparação da Técnica Tradicional e do Método Turbidimétrico Automatizado no Cultivo em Diferentes Fontes de Carbono de Fungos Filamentosos Isolados de Solo de Área de Caatinga. *Holos Environment*. 5(2): 94-103.
- Schipper, M.A.A. 1978. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. *Studies in Mycology* 17:1-69.
- Schipper, M.A.A. 1984. A revision of the genus *Rhizopus* I. The *Rhizopus stolonifer* group and *Rhizopus oryzae*. *Studies in Mycology* 25: 1-34.
- Schipper, M.A.A. 1990. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. *Studies in Mycology* 25: 1–53.
- Schnittler, M., Stephenson, S. L. 2000. Myxomycete biodiversity in four different forest types in Costa Rica. *Mycologia* 92: 626-637.
- Schoenlein-Crusius, I.H., Milanez, A.I. 1997. Mucorales (Zygomycotina) da Mata Atlântica da reserva biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, Santo André, SP. *Acta Botanica Brasilica* 11(I).
- Schoenlein-Crusius, I.H., Milanez., Trufem, S.F.B., Pires-Zottarelli, C.L.A., Grandi, R.A.P., Santos, M.L., Giustra, K.C. 2006. Microscopic fungi in the atlantic rainforest in cubatão, São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology* 37: 267-275.
- Skiada, A., Pagano, L., Groll, A., Zimmerli, S., Dupont, B., et al. 2011. Zygomycosis in Europe: analysis of 230 cases accrued by the registry of the European Confederation of Medical Mycology ECMM Working Group on Zygomycosis between 2005 and 2007. *Clinical Microbiology and Infection* 17: 1859–1867.
- Souto, P.C., Souto, J.S., Miranda, J.R.P., Santos, R.V., Alves, A.R. 2008. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32(32): 151-160.
- Souza, C.A.F., Costa, C.M.C., Maia, L.C., Santiago, A.L.C.M.A. 2013. Mucorales (Mucoromycotina). In: Santos, E.M., Júnior, M.M., Silva-Cavalcanti, J.S.S., Almeida, G.V.L. Parque Estadual Mata da Pimenteira: *Riqueza Natural e Conservação da Caatinga*. pp 51-63.
- StatSoft. 1997. Statistic for Windows 5.1. CD ROM. Tulsa, StatSoft Inc.

- Tabarelli, m., j. M. C. Silva, a. Vicente & a. M. Santos. 2000. Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na Caatinga: análise preliminar. pp. 13 in: SILVA, J. M. C. & M. TABARELLI (coords.) Workshop Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade bioma Caatinga. Petrolina, Pernambuco, Brasil. www.biodiversitas.org.br/caatinga.
- Trufem, S.F.B. 1981a. Mucorales do Estado de São Paulo 1: gênero *Mucor* Micheli. *Rickia* 9: 81-91,
- Trufem, S.F.B. 1981b. Mucorales do Estado de São Paulo 2: gêneros *Absidia* van Tieghem, *Gongronella* Ribaldi e *Rhizopus* Ehrenberg. *Rickia* 9: 99-106.
- Trufem, S.F.B. 1981c. Mucorales do Estado de São Paulo 3. Gêneros *Circinella* van Tieghem & Le Monnier e *Cunninghamella* Matruchot. *Rickia* 9: 113-120.
- Trufem, SFB. 1984. Mucorales do Estado de São Paulo. 4. Espécies coprófilas. *Rickia* 11: 65-75.
- Trufem SFB, Viriato A. 1985. Mucorales do Estado de São Paulo. 6. Mucoraceae coprófilas. *Rikia* 12: 113-123.
- Trufem, S. F. B. et al. 2006. Filo Zygomycota. In: Giuliatti, A. M. et al. (Org.). Diversidade e caracterização dos fungos do semi-árido brasileiro. Recife: *Instituto do Milênio do Semi-Árido* 2: 97-107.
- Turco, R.F., Kennedy A.C., Jawson, M.D. 1994. Microbial indicators of soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (eds) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Madison, pp 73-89.
- Upadhyay, H.P. 1969. Soil fungi from North-East and North Brazil. VII. *Nova Hedw* 17: 65-73.
- van Tieghem, P. 1878. Troisième mémoire sur les Mucorinées. *Annales des Sciences Naturelles-Botanique et Biologie Vegetale* 4(4): 312-399.
- Vánová M., Kubátová A. 2004. Dung microcosms as another source of fungal biodiversity on areas with industrial deposits., in Kovár P. (ed.), *Natural Recovery of Human-Made Deposits in Landscape (Biotic Interactions and Ore/Ash-Slag Artificial Ecosystems)*. Prague, Academia. pp 121-131.
- Viriato, A.; Trufem, S.F.B. 1985. Mucorales de São Paulo.7. Espécies Merosporangiadas. *Rickia* 12: 147-154.
- Viriato, A. 2003. Mucorales (Zygomycota) coprófilos e de solo: diversidade e aspectos ecológicos. Dissertação de Mestrado, São Paulo. pp 162.
- Voigt, K & I. Olsson. 2008. Molecular phylogenetic and scanning electron microscopical analysis places the Choanephoraceae and the Gilbertellaceae in a monophyletic group within the Mucorales (Zygomycetes, Fungi). *Acta Biologica Hungarica* 59: 365-383.
- Voigt, K., K. Hoffmann, E. Einax, M. Eckart, T. Papp, C. Vágvölgyi and L. Olsson. 2009. Revision of the family structure of the Mucorales (Mucoromycotina, Zygomycetes) based on multigene-genealogies: Phylogenetic analyses suggest a bigeneric Phycomycetaceae with *Spinellus* as sister group to *Phycomyces*, In: Y. Gherbawy, R.L. Mach and M.K. Rai. [eds.]. *Current Advances in Molecular Mycology*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York. U.S.A. pp. 313-332.
- Walther, G., Pawłowska, j., Alastruey-Izquierdo, A., Wrzosek, M., Rodriguez-Tudela, J.L., Dolatabadi, S., Chakrabarti, A., de Hoog, G.S. 2013. DNA barcoding in Mucorales: an inventory of biodiversity. *Persoonia* 30: 11-47.
- Warcup, j. H. 1950. *The ecology of soil fungi*. Botany School, Unioersity of Cambridge.
- Webster J. 1980. *Introduction to fungi*. Cambridge : Cambridge University Press.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis, M.A., Gelfand, D.H., Sninsky, J.J., White, T.J.(eds.) *PCR Protocols: a guide to methods and applications*. New York, Academic Press, pp. 315-322.
- White, M.M, James, T.Y., O'Donnell, K.O, Cafaro, M.J., Tanabe, Y., Sugiyama, J. 2006. Phylogeny of the Zygomycota based on nuclear ribosomal sequence data. *Mycologia* 98(6): 872-884.

- Wicklow DT. 1981 The coprophilous fungal community: a mycological system for examining ecological ideas. in Wicklow DT, Carroll GC (eds), *The Fungal Community: its organization and role in the ecosystem*. New York, Marcel Dekker. pp 47-76.
- Wu, T., Zivanovic, S., Draughon, F.A., Conway, W.S., Sams, C.A. 2005. Physicochemical Properties and Bioactivity of Fungal Chitin and Chitosan. *Journal. Agricultural. Food Chemistry* 53: 3888-3894.
- Yan G, Viraraghavan T. 2003. Heavy metals removal from aqueous solution by fungus *Mucor rouxii*. *Water Research* 37 (18): 4486-4496.
- Zafar S, Aqil F, Ahmad I. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. *Bioresource Technology*. 98(13): 2557-2561.
- Zheng, Ru-yong., Chen, Gui-qing. 2001. A Monograph of *Cunninghamella*. *Mycotaxon*. 80: 1-75.
- Zheng, Ru-yong., Chen, Gui-qing., Huang, He., Liu, Xiao-yong. 2007. A Monograph a *Rhizopus*. *Sydowia* 59 (2): 273-372.