



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE MICOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE FUNGOS

**CATARINA LETÍCIA FERREIRA DE LIMA**

**DIVERSIDADE DE MUCORALES EM DUAS ÁREAS DE BREJO DE  
ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

Recife

2018

CATARINA LETÍCIA FERREIRA DE LIMA

**DIVERSIDADE DE MUCORALES EM DUAS ÁREAS DE BREJO DE  
ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos, do Departamento de Micologia, do Centro de Biociências, 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:** Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago

Recife

2018

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Claudina Queiroz, CRB4/1752

Lima, Catarina Letícia Ferreira de  
Diversidade de Mucorales em duas áreas de brejo de altitude de  
Pernambuco / Catarina Letícia Ferreira de Lima - 2018.  
65 folhas: il., fig., tab.

Orientador: André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Biologia de  
Fungos. Recife, 2018.

Inclui referências

1. Fungos 2. Mucoromycota 3. Solos - manejo  
I. Santiago, André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo (orient.) II. Título

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2019-052

CATARINA LETÍCIA FERREIRA DE LIMA

**DIVERSIDADE DE MUCORALES EM DUAS ÁREAS DE BREJO DE  
ALTITUDE DE PERNAMBUCO**

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

Data de aprovação: 08/03/2018.

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Dr. André Luiz C. M. de A. Santiago (Orientador)  
Departamento de Micologia - UFPE

---

Dra. Cristina Maria de Souza-Motta  
Examinadora interna - Titular/UFPE

---

Dra. Flávia Paiva Coutinho  
Examinadora externa - Titular/CETENE

---

Dr. Roger Fagner Ribeiro Melo  
Examinador externo – Suplente/UFPE

---

Dra. Oliane Maria Correia Magalhães  
Examinadora interna – Suplente/UFPE

RECIFE  
2018

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Maria Letícia, por sempre acreditar em mim, não me deixando desistir nos momentos de dificuldade, incentivando e guiando os meus caminhos. A senhora é tudo para mim!

Ao meu namorado e parceiro de vida, Arthur Cabral, por estar sempre ao meu lado. Sem sua dedicação, apoio e amor tudo seria mais difícil. Obrigada pela família que estamos construindo e pelo presente que é a nossa filha, Antônia, que ainda espera na barriga para conhecer o mundo, mas já mudou tanta coisa em nossas vidas.

Ao meu orientador Dr. André Luiz Cabral Monteiro de Azevedo Santiago, pela amizade, confiança e paciência sempre evidentes para conclusão desse trabalho.

Ao meu grupo de pesquisa, Thalline Leite, Diogo Xavier, Carlos Fragoso, Ana Lúcia Melo e Rafael Vilela, pela amizade e pelo incentivo nas atividades do laboratório, bem como pela ajuda nos experimentos de biologia molecular, filogenia, edição de imagens e na escrita do artigo.

A todos que trabalharam comigo no laboratório I: Rejane, Camila, Ingrid, Mayara e Valéria, pelo companheirismo, incentivo e boas risadas.

Aos colaboradores, Luciana Gurgel e Waldemar Melo, pela parceria imprescindível para a realização das coletas.

A Jonathan Ramos Ribeiro pela ajuda nas análises estatísticas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização dessa dissertação.

Dedico meu trabalho e todo o esforço para concluir essa etapa da minha vida inteiramente a você, mãe, que sempre me incentivou e direcionou aos estudos. Passamos por dificuldades e muitas lições de vida colhemos juntas sem nunca nos faltar amor. Muito obrigada!

## RESUMO

A ordem Mucorales abrange fungos em maioria sapróbios comumente isolados de solo e excrementos de herbívoros, pertencentes ao filo Mucoromycota e subfilo Mucoromycotina. No Brasil, espécimes da ordem foram reportados em solos de Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado, sendo poucos os relatos da ocorrência dos mesmos em solo de brejos de altitude. Dessa forma, o presente estudo objetivou conhecer a diversidade, frequência de ocorrência, abundância relativa e riqueza desses fungos em solos de dois brejos de altitude localizados no agreste de Pernambuco. Foram realizadas seis coletas nos brejos da Serra de Bonito e do Sítio da Palmeira, localizados nos municípios de Bonito e Camocim de São Félix, respectivamente. No total, foram analisadas 72 amostras de solo. Para o isolamento dos espécimes de Mucorales, cinco mg de solo foram distribuídas em placas de Petri contendo meio ágar germen de trigo, em triplicata. A identificação dos espécimes foi realizada pela observação das características macroscópicas e microscópicas de acordo com a bibliografia específica. O sequenciamento das regiões ITS e LSU do rDNA foi realizado para a identificação genética de uma nova espécie isolada. Dos solos dos brejos de altitude inventariados, foram isoladas 38 espécies de Mucorales ( $4,32 \times 10^4$  UFC/g de solo), distribuídos em nove gêneros: *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. Dentre os isolados, *C. bertholletiae* apresentou maior número de UFC. g<sup>-1</sup> de solo, seguida por *Absidia* sp. 3 e *R. stolonifer*. *Absidia* sp. 3, *C. bertholletiae* e *R. stolonifer* foram mais frequentes e abundantes nos solos estudados. A composição de Mucorales entre os solos dos brejos de altitude inventariados foi diferente, embora variações significativas entre a diversidade e riqueza desses fungos nesses solos não tenham sido observadas. *Mucor pernambucoensis* é uma espécie nova, enquanto *Absidia* (sp. 1, sp. 2, sp. 3 e sp. 4), *Actinomucor* sp., *Backusella* (sp. 1 e sp. 2), *Cunninghamella* (sp. 1 e sp. 2), *Gongronella* (sp. 1 e sp. 2), *Mucor* (sp. 1 e sp. 2), *Rhizopus* (sp. 1 e sp. 2) e *Syncephalastrum* sp. são prováveis espécies novas.

**Palavras-chave:** Ecologia. Mucoromycota. Mucoromycotina. Solo. Taxonomia.

## ABSTRACT

The Mucorales order mostly comprises fungi saprobes commonly isolated from soil and herbivore dung, belonging to the phylum Mucoromycota and subphylum Mucoromycotina. In Brazil, specimens of this order were recorded in soils of Caatinga, Atlantic Forest and Cerrado, with a few records in soil from upland rainforest. Therefore, the present study aimed to know the diversity, frequency of occurrence, relative abundance and richness of these fungi in soils from upland rainforest areas located in the Agreste of Pernambuco. Six collections were made in the upland rainforest of Serra de Bonito and Sítio da Palmeira, located in Bonito and Camocim de São Félix municipalities, respectively. Overall, 72 soil samples were analyzed. For the isolation of Mucorales specimens, five milligrams of soil were added to a wheat germ agar medium in Petri dishes, in triplicate. The specimens were identified by observing its macroscopic and microscopic characteristics according to the specific bibliography. Sequencing of ITS and LSU regions of the rDNA was performed for the genetic identification of a newly isolated species. Thirty-eight species of Mucorales ( $4.32 \times 10^4$  CFU.g<sup>-1</sup> of soil) distributed in nine genus were isolated from soils from the upland rainforest areas: *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* and *Syncephalastrum*. Among the isolates, *C. bertholletiae* showed the higher number of CFU.g<sup>-1</sup> soil, followed by *Absidia* sp. 3 and *R. stolonifer*. *Absidia* sp. 3, *C. bertholletiae* and *R. stolonifer* were more frequent and abundant in the inventoried soils. The composition of Mucorales between soils from the two upland rainforest areas was different, although significant variations between the diversity and richness of these fungi in these areas were not observed. *Mucor pernambucoensis* is a new species, whereas *Absidia* (sp. 1, sp. 2, sp. 3 and sp. 4), *Actinomucor* sp., *Backusella* (sp. 1 and sp. 2), *Cunninghamella* (sp. 1 and sp. 2), *Gongronella* (sp. 1 and sp. 2), *Mucor* (sp. 1 and sp. 2), *Rhizopus* (sp. 1 and sp. 2) and *Syncephalastrum* sp. are likely new species.

**Keywords:** Ecology. Mucoromycota. Mucoromycotina. Soil. Taxonomy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização do Município de Bonito (Bonito, PE, Brasil).....	26
Figura 2 -	Aspecto da mata de Bonito – PE.....	27
Figura 3 -	Localização do Município de Camocim de São Félix (Camocim de São Félix, PE, Brasil).....	27
Figura 4 -	Aspecto da mata de Camocim de São Félix – PE.....	28
Figura 5 -	Dados de precipitação para as áreas de estudo entre agosto/2016 e julho/2017 em Bonito e Camocim de São Félix, PE.....	29
Figura 6 -	Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 da Serra de Bonito, PE.....	37
Figura 7 -	Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 do Sítio da Palmeira, PE.....	37
Figura 8 -	Diversidade (Shannon-Wiener) dos Mucorales nos solos do Brejo de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.....	38
Figura 9 -	Riqueza dos Mucorales nos solos do Brejo de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.....	38
Figura 10 -	Análise de composição (NMDS) das comunidades de Mucorales na Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.....	39
Figura 11 -	<i>Mucor pernambucoensis</i> (URM 7640) A: verso da colônia após cinco dias a 25 °C em AEM; B: esporangióforos repetidamente simpodialmente ramificados com esporângios globosos; C, D: esporangióforos simples com esporângios globosos; E, F: esporangióforos com columelas; G: clamidósporos globosos; H: esporangiosporos.....	41

Figura 12 - Árvore filogenética de *Mucor pernambucoensis* construída usando as sequências LSU do rDNA. *Mortierella parvispora* foi usada como um grupo externo. As sequências estão rotuladas com seus números de acesso ao GenBank. Os valores de suporte são da inferência bayesiana e das análises de máxima verossimilhança (valores acima e abaixo dos ramos, respectivamente). A sequência obtida neste estudo está em negrito..... 42

Figura 13 - Árvore filogenética de *Mucor pernambucoensis* construída usando as sequências ITS do rDNA. *Mortierella parvispora* foi usada como um grupo externo. As sequências estão rotuladas com seus números de acesso no GenBank. Os valores de suporte são da inferência bayesiana e das análises de máxima verossimilhança (valores acima e abaixo dos ramos, respectivamente). A sequência obtida neste estudo está em negrito..... 43

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Unidades formadoras de colônia por grama de solo de Mucorales isolados dos brejos da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE..... 32
- Tabela 2 - Abundância (A.) e frequência de ocorrência (F.O.) de Mucorales isolados dos brejos da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE..... 35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
BDA	Batata dextrose ágar
BR	Brasil
°C	Centígrados
Cm	Centímetro
DNA	Ácido desoxirribonucleico
<i>g</i>	Gramma
ITS	Internal Transcribed Spacer
Km	Quilômetro
L	Litro
LSU	Large subunit
m	Metro
mg	Miligrama
Mm	Milímetro
Mm	Micrômetro
NMDS	Escalonamento Multidimensional não-métrico
PE	Pernambuco
rDNA	DNA ribossômico
sp.	Espécie
UFC	Unidade Formadoras de Colônias
URM	University Recife Mycologia

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	MUCOROMYCOTINA BENNY.....	17
2.2	MUCORALES FR. ....	18
2.3	MATA ATLÂNTICA .....	20
<b>2.3.1</b>	<b>Mucorales isolados do solo de áreas de Mata Atlântica no Brasil .....</b>	<b>20</b>
2.4	O SEMIÁRIDO BRASILEIRO .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Mucorales isolados de solo do semiárido – Caatinga .....</b>	<b>23</b>
2.5	BREJOS DE ALTITUDE .....	24
<b>2.5.1</b>	<b>Mucorales isolados de solo de brejos de altitude .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1	ÁREAS DE ESTUDO .....	26
<b>3.1.1</b>	<b>Bonito – PE .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Camocim de São Félix – PE .....</b>	<b>27</b>
3.2	COLETAS DO SOLO .....	28
3.3	ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCORALES .	29
3.4	EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO DAS REGIÕES ITS E LSU RDNA .....	30
3.5	AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES DE MUCORALES .....	30
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
3.7	ANÁLISE FILOGENÉTICA .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1	ECOLOGIA DOS MUCORALES NOS BREJOS DE ALTITUDE DE BONITO E CAMOCIM DE SÃO FÉLIX, PE .....	32

4.2	TAXONOMIA .....	39
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
5.1	ECOLOGIA DE MUCORALES EM DOIS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO .....	44
5.2	<i>MUCOR PERNAMBUCOENSIS</i> SP. NOV. (MUCORALES, MUCOROMYCOTA), UMA NOVA ESPÉCIE ISOLADA DE BREJO DE ALTITUDE DO BRASIL .....	47
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Mucoromycotina Benny, um dos quatro subfilos pertencentes ao filo Mucoromycota, proposto para acomodar os espécimes do extinto filo Zygomycota, é constituído pelas ordens Endogonales Moreau, Umbelopsidales Spatafora & Stajich e Mucorales Fr., sendo essa última a que abrange o maior número de espécies descritas dentro desse subfilo (HIBBETT et al., 2007; HOFFMANN et al., 2011). A maioria dos espécimes de Mucorales produz zigósporos, esporos de origem sexuada, formados pela copulação gametangial de hifas compatíveis, no interior dos zigosporângios, enquanto a reprodução assexuada ocorre pela produção esporangiosporos, merosporangiosporos e esporangióolos (SANTIAGO et al., 2013).

Em geral, o micélio dos Mucorales exibe um aspecto cotonoso, sendo constituído por hifas bem desenvolvidas, cenocíticas e hialinas (DE SOUZA et al., 2011), com septos verdadeiros delimitando as estruturas de reprodução ou irregularmente espaçados em hifas de colônias envelhecidas (TRUFEM, 2006). Estando presentes nos mais variados habitats, a maioria dos Mucorales é sapróbia e pode ser isolada de diferentes substratos, como solo, água, frutas, grãos estocados, esterco, plantas e animais, incluindo humanos imunocomprometidos (MARTINEZ e HERTWECK, 2005; SANTIAGO et al., 2013).

O solo é um substrato habitado por diversos micro-organismos, incluindo os fungos, que nele desempenha importantes funções, como a decomposição da matéria orgânica, possibilitando a ciclagem de nutrientes, o controle biológico, a produção de húmus e a decomposição de moléculas xenobióticas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). No entanto, estudos sobre a diversidade de Mucorales em solo de diferentes domínios brasileiros foram realizados de forma fragmentada, tendo os principais relatos desses fungos sido citados em Pernambuco e São Paulo, principalmente para áreas de Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (Mucorales in Flora do Brasil 2020 em construção, 2018).

A região semiárida brasileira abrange cerca de 982.563,3 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005), caracterizando-se por apresentar temperaturas elevadas e chuvas mal distribuídas. Fazem parte dessa região os domínios Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (FUNDAÇÃO ARARIPE, 1998; MMA, 2004; CORREIA et al., 2011). A vegetação da Caatinga, predominante no semiárido, traz a marca da escassez hídrica, formando um mosaico de florestas secas constituídas por espécies de porte arbóreo a arbustivo, com tipos vegetacionais contendo espinhos, característica de plantas xerofíticas (TABARELLI e SILVA, 2002). Embora estudos recentes tenham reconhecido a diversidade de fungos em ecossistemas semiáridos

(SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2006; GUSMÃO et al., 2006; SANTIAGO et al., 2013; MAIA e CARVALHO JR, 2014), dados sobre a comunidade fúngica, bem como as relações ecológicas desses micro-organismos com os substratos e com outros organismos nesses ecossistemas ainda são escassos.

Dentro do semiárido brasileiro encontram-se os brejos de altitude, “ilhas” de florestas úmidas caracterizadas por condições climáticas, edáficas, topográficas e cobertura vegetal distintas da Caatinga (RODRIGUES et al., 2008). Essas condições diferenciadas se devem à presença de planaltos e chapadas entre 500–1100m de altitude que funcionam como barreiras geográficas, ocasionando chuvas orográficas que garantem níveis de precipitação maiores que 1.200 mm por ano. Distribuídos entre os estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, são encontrados 47 brejos em uma área de 18.500 Km<sup>2</sup> (TABARELLI e SANTOS, 2004). Atualmente, 23 táxons de Mucorales foram descritos para o semiárido brasileiro (Mucorales in Flora do Brasil 2020 em construção, 2018) e, dentre esses, apenas 11 foram reportados em solo de brejos de altitude, incluindo uma espécie nova e duas primeiras ocorrências para o Brasil (SANTIAGO e MAIA, 2010; SANTIAGO et al., 2013; ALVES et al., 2017; TIBPROMMA et al., 2017).

É sabido que vários espécimes de Mucorales apresentam elevado potencial biotecnológico, principalmente no que se refere à produção de enzimas e ácidos orgânicos (FERREIRA et al., 2013). Dessa forma, torna-se importante e urgente a realização de inventários desses fungos em brejos de altitude, uma vez que as práticas de agricultura e pecuária, comuns nessas áreas, têm convertido as florestas em lavouras e pastos, o que tem fragmentado ou destruído totalmente esses ecossistemas, causando a perda da biodiversidade de muitos grupos de organismos, incluindo os fungos.

Com base no exposto, os objetivos desse trabalho foram 1 - conhecer e comparar a composição de espécies, riqueza, frequência de ocorrência, diversidade e abundância de Mucorales entre solos dos brejos de altitude da Serra de Bonito e do Sítio da Palmeira; 2 - conhecer o posicionamento filogenético das espécies novas para a ciência; 3 - ampliar o acervo de Mucorales da Micoteca URM com depósitos de espécimes isolados dos solos dos brejos de altitude inventariados.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MUCOROMYCOTINA BENNY

Mucoromycota Doweld, um dos dois filios propostos para abrigar os fungos do extinto filo Zygomycota, compreende três subfilios: Mucoromycotina Benny, Glomeromycotina (C. Walker & A. Schüßler) Spatafora & Stajich e Mortierellomycotina Kerst. Hoffm., K. Voigt & P.M. Kirk (SPATAFORA et al., 2016). Mucoromycotina abrange o maior número de espécies descritas dentro de Mucoromycota e compreende fungos micorrízicos, endofíticos e decompositores de matéria orgânica, englobando as ordens Endogonales, Mucorales e Umbelopsidales (SPATAFORA et al., 2016).

As hifas dos espécimes de Mucoromycotina são cenocíticas, com septos delimitando estruturas de reprodução ou presentes em hifas danificadas, embora colônias envelhecidas possam apresentar septos irregularmente espaçados (BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016). A presença de uma columela evidente e que adquire formatos distintos (BENNY et al., 2016), bem como a formação de esporângios, merosporângios e esporangiólos, formados no ápice de esporóforos, são características marcantes das espécies de Mucorales. Em Umbelopsidales, essas columelas são pequenas ou ausentes (WANG et al., 2013). Endogonales é a única ordem dentro do subfilio em que não é observada a presença de uma columela e o tipo de reprodução conhecida é a sexuada, ocorrendo através da formação de corpos de frutificação contendo zigósporos e zigosporângios (DESIRÒ et al., 2017).

Quando conhecida, a reprodução sexuada da maioria dos espécimes de Mucoromycotina ocorre através da copulação gametangial, na qual há a formação de um zigospório no interior de um zigosporângio, estrutura de coloração escura que pode ou não apresentar ornamentações, enquanto a reprodução assexuada geralmente ocorre pela produção de esporangiosporos, esporangiólos, merosporangiosporos e, menos comumente, por artrosporos e clamidosporos (ALEXOPOULOS et al., 1996; BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016).

Espécimes de Mucoromycotina são encontrados nos mais variados substratos e ecossistemas, colonizando-os rapidamente e vivendo como sapróbios, simbioses mutualistas, parasitas de plantas, fungos e animais, participando ativamente da ciclagem de nutrientes (JAMES e O'DONNELL, 2007; RICHARDSON, 2009). Esses táxons são frequentemente isolados do solo, esterco, plantas em decomposição e frutos (JAMES e O'DONNELL, 2007; BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016). Alguns espécimes podem atuar como

micoparasitas facultativos (ex: *Spinellus fusiger* Tiegh.), parasitas facultativos de artrópodes (ex: *Sporodiniella* sp.) (BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016) e de humanos (ex: *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., e *Absidia* sp.) (HARMAN et al., 2013).

Economicamente, algumas espécies de Mucoromycotina são conhecidas por causarem doenças em plantas na pré e pós-colheitas (*Choanephora* sp., *Gilbertella* sp., *Mucor* sp. e *Rhizopus stolonifer* Vuill.) (BENNY et al., 2016; SPATAFORA et al., 2016). Alguns táxons são utilizados na produção de alimentos fermentados por produzirem enzimas, como amilases (*Rhizopus* sp.), que são utilizadas na fabricação de xaropes e bebidas alcoólicas, e endoglucanases (*Mucor circinelloides* Tiegh.), utilizadas na fabricação de cerveja e na indústria têxtil (FERREIRA et al., 2013). Alguns espécimes de *Rhizopus* produzem ácidos orgânicos, como o fumárico e lático utilizados nas indústrias farmacêuticas, de cosméticos e têxteis (BENNY, 2012; FERREIRA et al., 2013).

## 2.2 MUCORALES FR.

A ordem Mucorales, descrita por Fries (1832), pertence à família Mucoraceae Dumort., subfilo Mucoromycotina Benny e filo Mucoromycota Doweld, sendo a maior em número de espécies (mais de 205 spp.) dentro do filo a que pertence (KIRK et al., 2008; SPATAFORA et al., 2016). Onipresentes e de fácil dispersão, a maioria dos espécimes deste grupo são decompositores, sendo encontrados no solo e em excremento de animais, principalmente de herbívoros e roedores, alguns táxons são comumente isolados de frutos em decomposição e alimentos estocados (HOFFMANN et al., 2013; SANTIAGO et al., 2013), enquanto outros atuam como parasitas de animais, incluindo humanos, e vegetais (TRUFEM et al., 2006; SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2008). As Mucormicoses, como são conhecidas as infecções causadas pelos fungos oportunistas desta ordem, são em maior parte descritas em pacientes que apresentam imunodeficiência, sendo os agentes mais comuns pertencentes aos gêneros *Rhizopus* Ehrenb., *Rhizomucor* Lucet & Costantin, *Mucor* Fresen. e *Absidia* Tiegh. (HARMAN et al., 2013; VIJAYABALA et al., 2013).

Dentro de Mucoromycotina, os Mucorales destacam-se das outras ordens pela produção de micélio ramificado e de rápido crescimento, além da formação de estruturas e esporos assexuados, como esporangióforos, esporangiosporos, merosporangióforos, merosporangiosporos, esporangióolos, clamidosporos e, raramente, artrosporos (TRUFEM, 1981; KIRK, 1999; HIBBETT et al., 2007). Os esporangiosporos são hialinos, na maioria dos

espécimes, lisos ou ornamentados com espinhos, estrias ou verrugas (BENNY et al., 2001). A columela, formada na porção apical do esporangióforo, é uma estrutura sinapomórfica e que apresenta importância taxonômica (HOFFMANN et al., 2013). A parede dos esporângios pode apresentar diferentes composições, sendo resistente, evanescente ou deliquescente (ALEXOPOULOS, 1996), características que têm relação direta com os mecanismos de dispersão dos esporangiosporos.

Representantes da ordem Mucorales exibem hifas cenocíticas, embora septos delimitando estruturas de reprodução possam ser visualizados em vários espécimes, assim como septos irregularmente espaçados, que podem ser observados em colônias envelhecidas (TRUFEM, 1999; DE SOUZA et al., 2017). O micélio dos Mucorales, em geral, apresenta aspecto cotonoso, com coloração que varia de acordo com a espécie, temperatura do ambiente e tempo de vida da colônia. Como citado, salvo algumas exceções, as colônias desses fungos crescem rapidamente e as hifas são intensamente ramificadas (ALEXOPOULOS et al., 1996; TRUFEM et al., 2006; HOFFMANN et al., 2013).

Muitos espécimes de Mucorales são conhecidos pela capacidade de produzirem enzimas, como amilases, pectinases e inulinases, além dos ácidos orgânicos láctico e fumárico (SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2006; FERREIRA et al., 2013; SANTIAGO et al., 2013), metabólitos de elevada importância industrial utilizados na produção de alimentos fermentados, principalmente em países asiáticos. Além da aplicação na indústria alimentícia, esses metabólitos são empregados nas indústrias farmacêutica, de cosméticos e têxtil (FERREIRA et al., 2013).

Na agricultura, *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. e *Choanephora cucurbitarum* (Berk. & Ravenel) Thaxt. são espécies conhecidas pela capacidade de causarem o apodrecimento de vegetais armazenados causando prejuízos econômicos (DUARTE, 2013), enquanto espécimes endofíticos (*Mucor* sp., *Rhizopus* sp. e *Cunninghamella* Matr. sp.) trazem benefícios, como proteção e resistência para plantas (GONZÁLEZ e TELLO, 2011; JIN et al., 2013; FREIRE et al., 2015).

No Brasil, os estudos de Mucorales estão concentrados em Pernambuco e São Paulo, com poucos registros para outros estados do nordeste e sudeste. Até o momento, foram descritas 76 espécies, distribuídas em 21 gêneros e cinco variedades para os domínios Caatinga, Mata atlântica e Cerrado (ALVES et al., 2017; ARIYAWANSA et al., 2015; HYDE et al., 2016; LI et al., 2016; LIMA et al., 2016; TIBPROMMA et al., 2017; Mucorales in Flora do Brasil 2020 em construção, 2018).

## 2.3 MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica brasileira estende-se ao longo da costa, ocupando uma área superior a 1.100.000 Km<sup>2</sup>, o que correspondia a 13% do território nacional (IBGE, 2004; ZANIRATO, 2010). Este domínio é considerado um dos maiores *hotspots* do planeta, sendo distribuído entre 17 estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (Região Nordeste); Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (Região Sudeste); Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Região Sul); Goiás e Mato Grosso do Sul (Região Centro-Oeste). Ultrapassando as fronteiras do Brasil, esse domínio ainda é encontrado em outros países, como Argentina e Paraguai (TABARELLI et al., 2005).

A fitofisionomia da Mata atlântica deve-se a fatores como relevo, que varia desde o nível do mar até 2.900 m de altitude (TABARELLI et al., 2005), ao tipo de solo, regime pluviométrico e à proximidade da costa. Dessa forma, a vegetação desse domínio pode ser definida por dois tipos principais: a floresta ombrófila, que pode ser dos tipos densa, aberta e mista, e a floresta estacional decidual e semidecidual (MORELLATO e HADDAD, 2000; PROBIO, 2007; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2017), em geral com árvores de médio e grande porte. O relevo é diversificado, composto por cadeias de montanhas, vales e planícies. Áreas de Mata Atlântica possuem clima predominantemente tropical úmido sem estação seca, influenciado pelas massas de ar decorrentes do oceano com vários microclimas ao longo da mata (MORELLATO e HADDAD, 2000; BIO-BRAS, 2011).

Embora a Mata Atlântica constitua a terceira maior formação vegetacional do Brasil (GALINDO-LEAL e CÂMARA, 2005), ações como a retirada ilegal da madeira, a introdução de plantas exóticas e a caça têm resultado na progressiva degradação das florestas brasileiras, tornando esse domínio um dos mais ameaçados do planeta. Em 2014, a Mata Atlântica estava reduzida a 8,5% do território original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014). Esse domínio representa um dos mais importantes *hotspots* mundiais, sugerindo prioridade na conservação (RIBEIRO et al., 2011).

### 2.3.1 Mucorales isolados do solo de áreas de Mata Atlântica no Brasil

Em 1981, a pesquisadora Sandra F. B. Trufem deu início a uma série de estudos com o objetivo de conhecer os Mucorales de solo no estado de São Paulo. No primeiro estudo, Trufem (1981a), tratou dos espécimes de *Mucor*, relatando a ocorrência das seguintes espécies: *Mucor corticola* Hagem, *M. fuscus* Bainier, *M. fragilis* Bainier, *M. genevensis*

Lendn., *M. heterosporus* A. Fisch., *M. hiemalis* Wehmer, *M. mousanensis* Baijal e B.S. Mehrotra, *M. piriformis* A. Fisch., *M. odoratus* Treschew e *M. suhagiensis* M.D. Mehrotra. Em um segundo trabalho, Trufem (1981b) descreveu espécimes de *Absidia*, *Gongronella* e *Rhizopus*, tendo isolado *A. cylindrospora* Hagem, *A. pseudocylindrospora* Hesselt. & J.J. Ellis, *A. repens* Tiegh., *A. spinosa* Lendn., *Gongronella butleri* (Lendn.) Peyronel e Dal Vesco, *Rhizopus arrhizus* A. Fisch. e *R. stolonifer* (Ehrenb.) Vuill. No terceiro trabalho, Trufem (1981c) isolou representantes de *Circinella* (Schostak.) Zycha e *Cunninghamella* Matr. distribuídos em sete espécies: *Circinella angarensis* (Schostak.) Zycha, *C. muscae* (Sorokīn) Berl. & De Toni, *C. rigida* G. Sm., *C. simplex* Tiegh., *Cunninghamella bainieri* Naumov, *C. echinulata* (Thaxt.) Thaxt. e *C. elegans* Lendn.

Schoenlein-Crusius e Milanez (1998), ao estudarem os fungos microscópicos da Mata Atlântica de Paranapiacaba, São Paulo, em solo, água e folheto, registraram 266 isolados de Mucorales distribuídos entre *Absidia cylindrospora*, *Mucor circinelloides*, *M. circinelloides* f. *janssenii* (Lendner) Schipper, *M. genevensis* Wehmer, *M. hiemalis*, *M. hiemalis* f. *silvaticus*, (Hagem) Schipper, *M. japonicus* (Komin.) Walther & de Hoog (como *Zygorhynchus japonicus*), *M. megalocarpus* Walther & de Hoog (como *Zygorhynchus macrocarpus*), *M. moelleri* (Vuill.) Lendn. (como *Z. moelleri*), *M. racemosus* Fresen., *R. microsporus* Tiegh. (como *R. oligosporus*) e *R. arrhizus* (como *R. oryzae*).

Schoenlein-Crusius et al. (2006) realizaram um trabalho sobre os fungos microscópicos do solo na floresta atlântica em Cubatão, São Paulo, e reportaram dez gêneros: *Absidia*, *Circinella*, *Cunninghamella*, *Mucor*, *Parasitella* Bainier, *Poitrasia* P.M. Kirk, *Rhizomucor* Lucet & Costantin, *Rhizopus*, *Rhopalomyces* Harder & Sörgel e *Zygorhynchus* Vuill.

Lima et al. (2016) descreveram *Backusella constricta* D.X. Lima, C.A.F. de Souza e A.L. Santiago como uma nova espécie do solo da Reserva Ecológica Dois Irmãos, Recife-PE, enquanto Hyde et al. (2016) descreveram *Cunninghamella gigacellularis* A.L. Santiago, C.L. Lima e C.A. de Souza proveniente de amostra de solo do município de Itambé, PE.

Durante um estudo sobre a diversidade de Mucorales em áreas da Mata Atlântica no Brasil, Lima et al. (2017) isolaram e descreveram *Mucor circinatos* D.X. Lima, G. Walther e A.L. Santiago como uma nova espécie do solo na Reserva Biológica de Saltinho, Tamandaré, Pernambuco.

## 2.4 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido se estende por uma área de 982.563,3 km<sup>2</sup> (IBGE, 2005) e está localizado, em maior parte, dentro do Nordeste e apenas uma pequena porção no Sudeste do Brasil. O clima da região varia de acordo com a altitude e a disponibilidade de chuvas de algumas áreas, indo do superúmido ao semiárido (CSR/IBAMA, 2010). Na maior parte do semiárido brasileiro, observa-se a Caatinga, domínio exclusivamente brasileiro e característico dessa região que abrange aproximadamente 844.453 km<sup>2</sup> e representa cerca de 10% do território nacional (IBGE, 2004) se estendendo pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe (região Nordeste) e Minas Gerais (região Sudeste) (IBGE, 2004). Os domínios limítrofes com a Caatinga são: Floresta Atlântica, ao leste, Amazônia, à oeste e o Cerrado ao sul do Brasil.

Com exceção das áreas de maior altitude, em que a temperatura varia de 23°C a 25°C, a região semiárida da Brasil apresenta médias anuais de 26°C a 27,5°C (EMBRAPA, 2015) e umidade relativa do ar com média de 50% (SILVA et al., 2010). A região apresenta regime de chuvas variado, podendo chegar a 2.000 a 2.900 mm por ano, nos limites da região como o litoral leste, e 290 a 500 mm anuais quando se percorre para o interior do país, passando pelo agreste e chegando ao sertão. A distribuição irregular das chuvas na maioria das áreas semiáridas confere longas secas, podendo-se observar até onze meses de estiagem ao longo do ano em algumas áreas (PRADO, 2003). No relevo da região são encontradas paisagens com altitude variável de 400 a 1.000 m (SILVA et al., 2010). A paisagem natural é marcada por uma variedade de ambientes, definidos por Jacomine (1996) de acordo com o tipo de material que os compõe, sendo eles: áreas do cristalino, áreas do cristalino recobertas por materiais mais ou menos arenosos e áreas sedimentares.

A vegetação do semiárido é variada, apresentando áreas características de cerrado, carrasco, floresta úmida, áreas de transição e Caatinga (FUNDAÇÃO ARARIPE, 1998), sendo esta última o tipo de vegetação predominante (CORREIA et al., 2011). A Caatinga apresenta-se como um mosaico de florestas secas formado por vegetação do tipo lenhosa espinhosa e não espinhosa, arbórea de pequeno porte ou arbustiva, podendo ser perenifólia, semidecídua e decídua (TABARELLI e SILVA, 2002; ARAÚJO et al., 2005; CÓRDULA et al., 2008). Dentre as principais famílias vegetais representadas, encontram-se as euforbiáceas, bromeliáceas e cactáceas (LEAL et al., 2005).

Em função da escassez de recursos hídricos e da elevada temperatura, a região semiárida brasileira foi por anos negligenciada quanto à realização de estudos ecológicos, tendo sido apontada como uma área de baixa biodiversidade. No entanto, estudos recentes seguem reportando uma elevada diversidade de espécies vegetais, animais e de fungos, além das altas taxas de endemismo para este ecossistema (MMA, 2002; GIULIETTI et al., 2004; MMA, 2012; FREIRE e GONÇALVES, 2012; ALMEIDA et al., 2014).

#### 2.4.1 Mucorales isolados de solo do semiárido - Caatinga

Estudos realizados no nordeste do Brasil mostraram que 27 espécies de Mucorales foram isolados de amostras de solo da Caatinga (SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2006; SANTIAGO e MAIA, 2010; SANTIAGO et al., 2013; ARIYAWANSA et al., 2015; LI et al., 2015; LIMA et al., 2015; DE SOUZA et al., 2016; Mucorales in Flora do Brasil 2020 em construção, 2018).

Santiago e Souza-Motta (2006) realizaram um estudo sobre Mucorales isolados em solo de Mineração de Cobre, no estado da Bahia, e obtiveram 46 isolados distribuídos em quatro gêneros e sete espécies: *Lichtheimia blakesleeana* (Lendn.) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt (como *Absidia blakesleeana*), *A. cylindrospora* Hagem, *Lichtheimia hyalospora* (Saito) Kerst. Hoffm., Walther e K. Voigt (como *A. hyalospora*), *Cunninghamella elegans* Lendn., *Rhizopus microsporus* Tiegh., *R. arrhizus* (como *R. oryzae*) e *Syncephalastrum racemosum* (Cohn.) ex J. Schröt.

Santiago e Maia (2010) registraram a primeira ocorrência de *Mycotypha microspora* Fenner em solo brasileiro no município de Belém de São Francisco, região semiárida, e ao estudar a diversidade Mucorales do semiárido de Pernambuco, Santiago et al. (2013) identificaram 19 táxons, distribuídos entre *Absidia*, *Apophysomyces* P.C. Misra, *Cunninghamella*, *Fennellomyces* Benny e R.K. Benj., *Lichtheimia*, *Mucor*, *Mycotypha*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*, nas cidades de Triunfo, Cabrobó e Belém de São Francisco.

Lima et al. (2015) avaliaram a diversidade de Mucorales em solos naturais e degradados do Parque Nacional do Catimbau, PE, relatando a ocorrência de 13 espécies de Mucorales, sendo *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora* Hagem, *Absidia* sp., *Cunninghamella elegans*, *C. echinulata* Thaxt., *Gongronella butleri* (Lendn.) Peyronel e Dal Vesco, *Lichtheimia brasiliensis* A. L. Santiago, Lima e Oliveira, *L. hyalospora* (Saito) Kerst. Hoffm., Walther & K. Voigt, *L. ramosa* (Zopf) Vuill., *Mucor circinelloides* Tiegh., *M.*

*hiemalis*, *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus* A. Fisch., *R. microsporus*, *Syncephalastrum racemosum*. Ainda no Parque Nacional do Catimbau, LI et al. (2015) reportaram *Absidia caatinguensis* D.X. Lima e A.L. Santiago, enquanto Ariyawansa et al. (2015) propuseram *Mucor caatinguensis* A.L. Santiago, C.A. de Souza e D.X. Lima como novas espécies. De Souza et al. (2016) registraram a primeira ocorrência de *Mucor indicus* no Brasil, no município de Sertânia, localizado no semiárido pernambucano.

## 2.5 BREJOS DE ALTITUDE

A maior parte da Caatinga se estabelece em regiões de baixa altitude e que raramente ultrapassam 300 m. No entanto, dentro do semiárido, podem ser encontradas florestas úmidas que se estendem entre 500 a 1100 m de altitude e que apresentam características climáticas, edáficas, topográficas e cobertura vegetal distintas da Caatinga (BRAGA et al., 2002; RODRIGUES et al., 2008). Esses ecossistemas são conhecidos como brejos de altitude (CÁCERES et al., 2008). A presença de planaltos e chapadas, que funcionam como barreiras geográficas, ocasionando chuvas orográficas, garantem níveis de precipitação superiores a 1.200 mm por ano nesses brejos, além de propiciar a formação de nevoeiros (TABARELLI e SANTOS, 2004; RODRIGUES et al., 2008). Distribuídos entre os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba e Pernambuco, são encontrados 43 brejos de altitude em uma área de 18.500 Km<sup>2</sup>, sendo 23 localizados em Pernambuco (TABARELLI e SANTOS, 2004).

A origem vegetacional dos brejos de altitude está associada às variações climáticas ocorridas durante o Pleistoceno. Essas variações permitiram a entrada da Floresta Atlântica nos domínios da Caatinga e, após períodos interglaciais, essas florestas sofreram um isolamento geográfico, permanecendo no local e formando uma espécie de “ilha” (ANDRADE-LIMA, 1982).

A vegetação que compõe os brejos de altitude é dos tipos perenifólia e subperenifólia (FERRAZ et al., 1998), podendo ser comumente encontrada nas florestas serranas do sul e sudeste, Florestas Amazônicas e Florestas Atlânticas do Brasil (TABARELLI e SANTOS, 2004). Isso acontece como consequência da altitude que proporciona uma maior disponibilidade hídrica para plantas (PEREIRA FILHO e MONTINGELLI, 2011). Infelizmente, as práticas de agricultura e pecuária, comuns nos brejos de altitude, têm convertido florestas em lavouras e pastos, restando apenas fragmentos florestais ou levando a destruição total desses ecossistemas (BRAGA et al., 2002).

### 2.5.1 Mucorales isolados de solo de brejos de altitude

Estudos sobre Mucorales em brejos de altitude são escassos e, até o presente, apenas 22 táxons foram reportados para esse ecossistema no Brasil, incluindo uma espécie nova e duas primeiras ocorrências para o Brasil.

Santiago e Maia (2010) registraram *Apophysomyces elegans* P.C. Misra, K.J. Srivast. e Lata como primeira ocorrência no Brasil no brejo de altitude de Triunfo, PE, enquanto Santiago et al. (2013), ao estudarem a diversidade de Mucorales no semiárido de Pernambuco, isolaram oito espécies dessa ordem também em Triunfo: *Absidia cylindrospora* var. *cylindrospora*, *Cunninghamella echinulata* var. *echinulata* (Thaxt.) Thaxt. ex Blakeslee, *C. echinulata* var. *verticillata* (F.S. Paine) R.Y. Zheng e G.Q. Chen, *C. phaeospora* Boedijn, *L. hyalospora* (Saito) Kerst. Hoffm., Walther e K. Voigt, *Mucor luteus* Linnem. ex Wrzosek, *M. prayagensis* B.S. Mehrotra e Nand ex Schipper e *M. subtilissimus* Oudem.

Em 2016, Alves estudou a diversidade de Mucorales em solos de brejo de altitude do semiárido de Pernambuco e registrou a ocorrência de 25 táxons isolados do solo dos brejos da Serra dos Cavalos, Serra de Jenipapo e Serra Negra. Foram isoladas *Absidia cylindrospora*, *A. fusca*, *A. pseudocylindrospora*, *A. repens*, *Cunninghamella clavata*, *C. elegans*, *C. bertholletiae*, *C. echinulata*, *C. blakesleeana*, *Gongronella butleri*, *Lichthemia hyalospora*, *Mucor circinelloides* var. *circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. subtilissimus*, *Rhizopus arrhizus* var. *arrhizus*, *R. microsporus* e *R. stolonifer*.

Alves et al. (2017) registraram *Cunninghamella clavata* R.Y. Zheng e G.Q. Chen pela primeira vez para o ocidente, a partir de solo do Brejo dos Cavalos, no município de Caruaru, Pernambuco. Tibpromma et al. (2017) relataram *Gongronella brasiliensis* C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago do brejo de altitude de Taquaritinga do Norte, município do agreste de Pernambuco.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

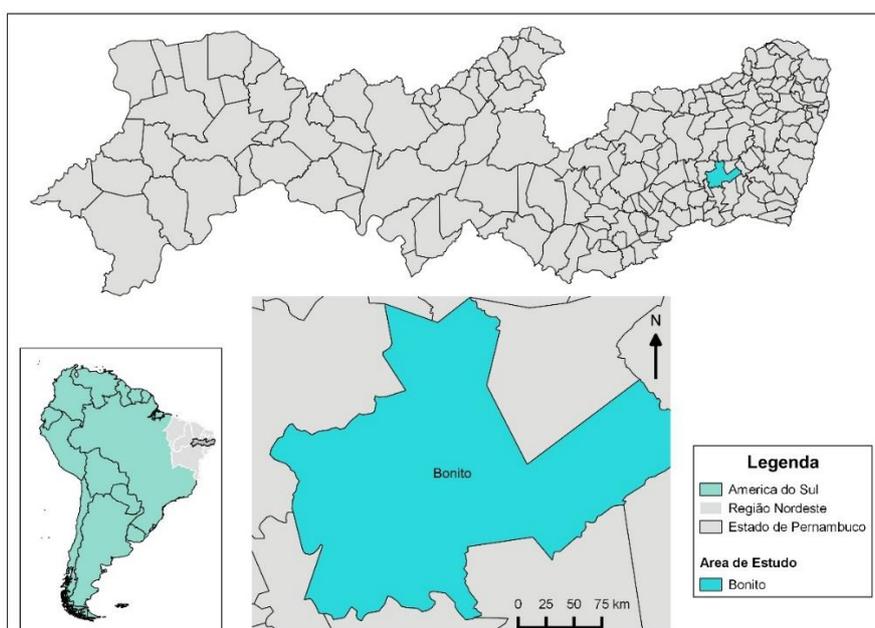
#### 3.1 ÁREAS DE ESTUDO

Coletas de solo foram realizadas em dois brejos de altitude do semiárido de Pernambuco: Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, pertencentes aos municípios de Bonito e Camocim de São Félix, respectivamente.

##### 3.1.1 Bonito – PE

Bonito (8°28'S 35°43'W) é um município brasileiro pertencente à mesorregião do agreste pernambucano, localizado a 136 km do Recife (Figura 1).

**Figura 1** - Localização do Município de Bonito (Bonito, PE, Brasil).



Fonte: LIMA, C.L.F. (2017)

Compreendendo o domínio Mata Atlântica, a vegetação local forma um misto de florestas, sendo composta predominantemente por floresta subperenifólia, apresentando também partes de floresta hipoxerófila (Figura 2) (BELTRÃO et al., 2005; IBGE, 2016). O clima é do tipo tropical chuvoso com verão seco e a temperatura média anual pode oscilar entre 15°C e 27 °C. A estação chuvosa está delimitada entre os meses de abril e agosto e a seca está presente nos demais meses do ano (Figura 5) (SANTIAGO et al., 2004). A altitude varia entre 450 a 900 m e a precipitação média anual em torno de 1.100 mm (RODAL et al., 2005). Morros, colinas e vales fazem parte do relevo de Bonito que apresenta solos dos tipos latossolo, podzólico e gleissolo (BELTRÃO et al., 2005).

**Figura 2** - Aspecto da mata da Serra de Bonito localizada no município de Bonito – PE.

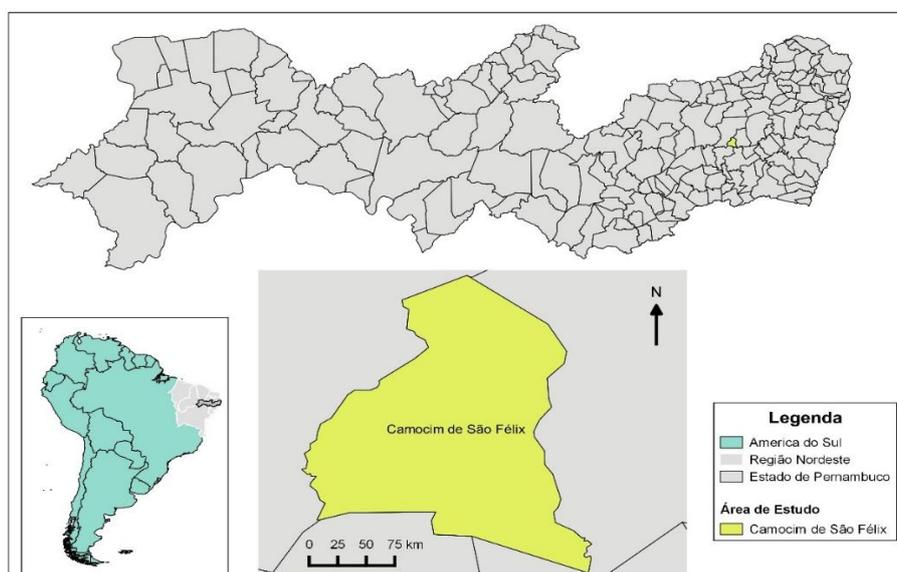


Fonte: LIMA, C.L.F. (2017)

### 3.1.2 Camocim de São Felix – PE

O município de Camocim de São Félix (08°21'S 35°45'W) encontra-se na mesorregião Agreste, a 123 km do Recife (Figura 3).

**Figura 3** - Localização do Município de Camocim de São Félix (Camocim de São Félix, PE, Brasil).



Fonte: LIMA, C.L.F. (2017)

A paisagem local é composta por vales, morros e montanhas. A vegetação é formada por um misto de florestas subcaducifólia e caducifólia, compreendendo os biomas Caatinga e Mata Atlântica. A precipitação média anual é de 893 mm (APAC, 2017). A estação chuvosa ocorre entre fevereiro e setembro (Figura 5) (BELTRÃO et al., 2005). A região apresenta clima tropical chuvoso com verão seco e a temperatura oscila entre 10 e 26°C (SOUZA et al.,

2009). Os solos são do tipo planossolo, podzólico e litólito (BELTRÃO et al., 2005; IBGE, 2016).

**Figura 4** - Aspecto da mata do Sítio da Palmeira localizado no município de Camocim de São Félix - PE

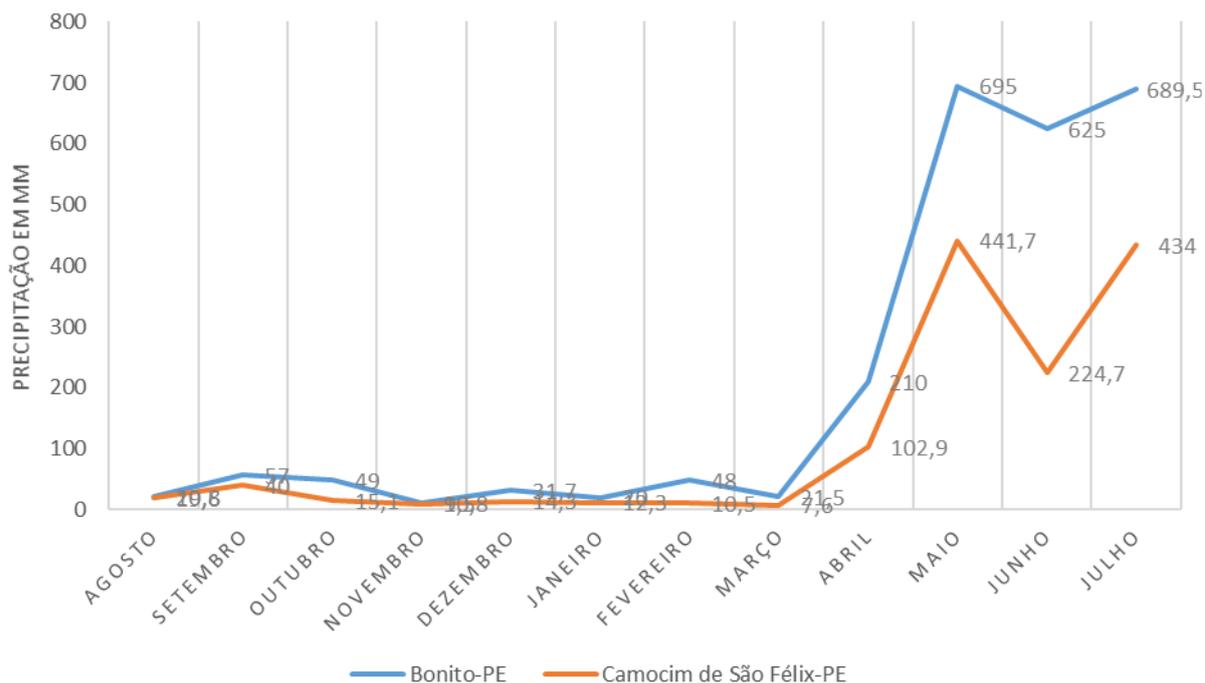


Fonte: LIMA, C.L.F. (2017)

### 3.2 COLETAS DO SOLO

Foram realizadas seis coletas de solo na Serra de Bonito ( $8^{\circ}29'S$   $41^{\circ}43'W$ ) e Sítio da Palmeira ( $08^{\circ}21'S$   $41^{\circ}45'W$ ) entre agosto de 2016 e julho de 2017. As amostras foram coletadas em dois setores escolhidos aleatoriamente em cada uma das áreas. Em cada área, foram demarcados dois retângulos de  $500\text{ m}^2$  e, em cada retângulo, coletadas nove amostras de solo a uma profundidade de 5 cm, respeitando-se a distância mínima de 10 m entre cada ponto de coleta, totalizando 18 amostras de solo para cada área e 36, considerando-se as duas áreas por coleta. As amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos e conservadas em caixas de isopor com gelo durante o transporte. No laboratório as amostras foram processadas em até 24h, ocorrendo a homogeneização das nove subamostras de cada quadrante de coleta, originando três amostras compostas por retângulo e seis amostras compostas por área de coleta. No total, foram analisadas 72 amostras compostas de solo, considerando as seis coletas realizadas nos dois brejos de altitude.

Figura 5 - Dados de precipitação para as áreas de estudo entre agosto/2016 e julho/2017, em Bonito e Camocim de São Félix, PE.



Fonte: LIMA, C.L.F. (2017)

### 3.3 ISOLAMENTO, PURIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS MUCORALES

Para o isolamento dos espécimes de Mucorales, cinco mg de solo foram inoculadas no meio de cultura ágar gérmen de trigo (BENNY, 2008) adicionado de cloranfenicol (100 g/L), contido em placas de Petri, em triplicada. O crescimento das colônias foi acompanhado por 96 h à temperatura ambiente ( $28 \pm 2$  °C). Para a purificação, um fragmento de cada colônia foi transferido para o meio de cultura ágar gérmen de trigo adicionado de cloranfenicol (100 g/L) em placas de Petri e, depois de confirmada a pureza, transferido para tubo de ensaio contendo o meio BDA (LACAZ et al., 2002).

A identificação dos espécimes foi realizada pela observação das características macroscópicas (coloração, aspecto e diâmetro das colônias) e microscópicas (microestruturas), com base nas descrições de Benjamin e Hesseltine (1957), Benjamin (1959), Upadhyay (1969), Schipper (1978, 1984, 1990), Benny (1982), Zheng e Chen (2001), Hoffmann et al. (2007), e Zheng et al. (2007).

### 3.4 EXTRAÇÃO DE DNA, AMPLIFICAÇÃO E SEQUENCIAMENTO DAS REGIÕES ITS E LSU RDNA

Foi realizada a extração e sequenciamento do DNA de apenas uma nova espécie isolada, e as demais prováveis espécies novas já foram encaminhadas para extração de sequenciamento das regiões do rDNA. A biomassa foi obtida de culturas novas e puras, em que o micélio foi transferido para microtubos de 2 mL com tampa de rosca, acrescidos de 0,5g de contas de vidro (“*glass beads*”) 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 primers ITS1 e ITS4 (WHITE et al., 1990; VAN TUINEN et al., 1998; SANTIAGO et al., 2013) e, para a região LSU, foram utilizados os primers F1843 e R3096 (SCHMITT et al., 2009). Os produtos amplificados foram purificados com PureLink – PCR Purification Kit – Invitrogen.

O sequenciamento foi realizado na Plataforma Tecnológica de Genômica e Expressão Gênica do Centro de Biociências (CB) da UFPE, tendo as sequências geradas sido comparadas com outras sequências depositadas na biblioteca de genes (GenBank) utilizando o Blastn.

### 3.5 AVALIAÇÃO DAS COMUNIDADES DE MUCORALES

A frequência de ocorrência (FO) das espécies foi estimada segundo a equação:  $FO = (J_i/k)$ , em que: FO = frequência de ocorrência da espécie *i*;  $J_i$  = número de amostras nas quais a espécie *i* ocorreu;  $K$  = número total de amostras de solo. De acordo com essa fórmula, as espécies foram classificadas como: muito frequentes ( $> 10\%$ ), frequentes (5–10%), pouco frequentes, ( $\geq 1 < 5\%$ ) e raras ( $< 1\%$ ) (HYDE e SARMA, 2001).

A abundância de cada espécie nas áreas foi calculada aplicando-se a fórmula:  $A = (N_i/N) \times 100$ , em que: A = abundância *i*;  $N_i$  = número de UFC de espécies *i*; N = número total de UFC (ZAK e WILLIG, 2004).

Para a estimativa da diversidade de Mucorales nas áreas de estudo, foi utilizado o índice de diversidade de Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

em que: S é o número de espécies,  $p_i$  é a proporção da espécie i, estimada como  $n_i/N$ , onde  $n_i$  é a medida de importância da espécie i (número de indivíduos, biomassa), e N é o número total de indivíduos.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A comparação das comunidades fúngica entre os solos dos brejos de altitude estudados foi realizada através da Análise de Similaridade (ANOSIM), em que a matriz de similaridade Bray-Curtis foi representada graficamente através do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS). Curvas de acumulação de espécies também foram calculadas, o que permitiu calcular a riqueza potencial de cada área através de estimadores como Chao1 e Jackknife1. Todas as análises foram realizadas através da plataforma *software R Core Team* (2017), assumindo um nível de significância de  $p < 0,05$ .

### 3.7 ANÁLISES FILOGENÉTICAS

As sequências obtidas foram alinhadas com outras recuperadas do GenBank com o auxílio do programa MEGA v.6 software (TAMURA et al., 2013). A caracterização molecular final se deu com a avaliação filogenética e construção de árvores. A análise bayesiana (1 x 10<sup>6</sup> gerações) foi realizada com MrBayes 3.1.2 (RONQUIST; HUELSENBECK 2003), executada a partir do programa Topali 2.5 (MILNE et al. 2004). O modelo de substituição nucleotídica foi estimado usando Topali 2.5.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ECOLOGIA DOS MUCORALES NOS BREJOS DE ALTITUDE DE BONITO E CAMOCIM DE SÃO FÉLIX, PE.

Dos solos dos brejos de altitude inventariados foram isolados fungos pertencentes a 39 táxons de Mucorales ( $4,32 \times 10^4$  UFC.g<sup>-1</sup> de solo), distribuídas em 9 gêneros: *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum*. Do solo da Serra do Bonito, foram isolados 31 táxons de *Absidia*, *Actinomucor*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor* e *Rhizopus*, enquanto 21 táxons de *Absidia*, *Backusella*, *Cunninghamella*, *Gongronella*, *Lichtheimia*, *Mucor*, *Rhizopus* e *Syncephalastrum* foram obtidos do solo do Sítio da Palmeira (Tabela 1).

No solo da Serra de Bonito, *Cunninghamella bertholletiae* apresentou maior número de UFC.g<sup>-1</sup> de solo ( $8,0 \times 10^3$ ), seguida por *R. stolonifer* ( $3,6 \times 10^3$ ) e *Gongronella* sp. 1 ( $1,2 \times 10^3$ ) (Tabela 1), enquanto no solo do Sítio da Palmeira, as espécies que apresentaram os maiores valores de UFC.g<sup>-1</sup> de solo foram *Absidia* sp. 3 ( $8,3 \times 10^3$ ), *A. pseudocylindrospora* ( $4,4 \times 10^3$ ) e *R. stolonifer* ( $3,0 \times 10^3$ ) (Tabela 1).

Nesse estudo, foram isoladas *Absidia* (sp. 1, sp.2, sp. 3 e sp. 4), *Actinomucor* (sp.), *Backusella* (sp. 1 e sp. 2), *Cunninghamella* (sp. 1 e sp. 2), *Gongronella* (sp. 1 e sp. 2), *Mucor* (sp. 1 e sp. 2), *Rhizopus* (sp. 1 e sp. 2) e *Syncephalastrum* (sp.) que apresentaram diferenças morfológicas, em relação às espécies descritas dentro dos gêneros citados, sendo prováveis táxons novos para a ciência. Entretanto, até o presente, o sequenciamento das regiões LSU e ITS do rDNA foi realizado apenas para *M. pernambucoensis* sp. nov., comprovando ser uma nova espécie. O sequenciamento das regiões LSU e ITS do rDNA das outras espécies está em andamento.

Tabela 1 - Unidades formadoras de colônia por grama de solo de Mucorales isolados dos brejos da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.

Mucorales	Serra de Bonito	Sítio da Palmeira	Total
<i>Absidia</i> sp. 1	$0,2 \times 10^3$	-	$0,2 \times 10^3$
<i>Absidia</i> sp. 2	$3,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$	$8,0 \times 10^3$
<i>Absidia</i> sp. 3	-	$8,3 \times 10^3$	$8,3 \times 10^3$
<i>A. cylindrospora</i> Hesselt. & J.J. Ellis	$0,4 \times 10^3$	-	$0,4 \times 10^3$

<i>A. pseudocylindrospora</i> Hesselt. & J.J. Ellis	1,0 x 10 <sup>3</sup>	4,4 x 10 <sup>3</sup>	5,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Actinomucor</i> sp.	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Backusella</i> sp.1	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>Backusella</i> sp. 2	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>Backusella</i> sp. 3	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>B. lamprospora</i> (Lendn.) Benny & R.K. Benj.	2,0 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>	2,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>B. constricta</i> D.X. Lima, de Souza & A.L. Santiago	0,8 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>
<i>Cunninghamella</i> sp. 1	0,8 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>	1,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>Cunninghamella</i> sp. 2	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>C. bertholletiae</i> Stadel	8,0 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>	8,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>C. blakesleeana</i> Lendn.	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>C. clavata</i> R.Y. Zheng & G.Q. Chen	0,6 x 10 <sup>3</sup>	-	0,6 x 10 <sup>3</sup>
<i>C. echinulata</i> var. <i>echinulata</i> (Thaxt.) Thaxt. ex Blakeslee	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,6 x 10 <sup>3</sup>	0,8 x 10 <sup>3</sup>
<i>C. gigacelularis</i> A.L. Santiago, C.L. Lima & C.A. de Souza	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,6 x 10 <sup>3</sup>
<i>Gongronella</i> sp. 1	1,2 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>	1,6 x 10 <sup>3</sup>
<i>Gongronella</i> sp. 2	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>G. brasiliensis</i> C.A. de Souza, D.X. Lima & A.L. Santiago	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>G. butleri</i> (Lendn.) Peyronel & Dal Vesco	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Lichtheimia brasiliensis</i> A.L. Santiago, N. Lima & Oliveira	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>L. ramosa</i> (Lendn.) Naumov	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Mucor</i> sp. 1	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Mucor</i> sp. 2	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. pernambucoensis</i> C.L. Lima, D.X. Lima &	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>

A.L. Santiago sp. nov.			
<i>M. circinelloides</i> f. <i>circinelloides</i> Tiegh.	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,8 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. circinelloides</i> f. <i>lusitanicus</i> (Bruderl.) Schipper	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. guilliermondii</i> Nadson & Filippov	0,2 x 10 <sup>3</sup>	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	0,8 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>	1,0 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. irregulares</i> Stchigel, Cano, Guarro & E. Álvarez	0,4 x 10 <sup>3</sup>	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>M. luteus</i> Linnem. ex Wrzosek	0,6 x 10 <sup>3</sup>	-	0,6 x 10 <sup>3</sup>
<i>Rhizopus</i> sp. 1	-	0,4 x 10 <sup>3</sup>	0,4 x 10 <sup>3</sup>
<i>Rhizopus</i> sp. 2	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>R. microsporus</i> Tiegh.	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>R. stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill.	3,6 x 10 <sup>3</sup>	3,0 x 10 <sup>3</sup>	6,6 x 10 <sup>3</sup>
<i>Syncephalastrum</i> sp.	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<i>S. racemosum</i> Cohn ex J. Schröt.	-	0,2 x 10 <sup>3</sup>	0,2 x 10 <sup>3</sup>
<b>Total</b>	<b>28 x 10<sup>3</sup></b>	<b>26 x 10<sup>3</sup></b>	<b>54 x 10<sup>3</sup></b>
<b>Riqueza de espécies</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>39</b>

*Absidia* sp. 2 apresentou as maiores frequências de ocorrência e abundância relativa (F.O. = 21,36%, A. = 0,167%), seguida por *C. bertholletiae* (F.O. = 16,23%, A. = 0,151%) e *R. stolonifer* (F.O. = 11,53%, A. = 0,094%) (Tabela 2). *Absidia* sp. 2, *C. bertholletiae* e *R. stolonifer* foram muito frequentes nos solos estudados, enquanto *Absidia* sp. 3, *A. pseudocylindrospora* e *Gongronella* sp. 1 foram frequentes. *Backusella lamprospora*, *B. constricta*, *Cunninghamella* sp. 1, *C. clavata*, *C. echinulata* var. *echinulata*, *C. gigacelularis*, *Mucor* sp. 1, *M. circinelloides* f. *circinelloides*, *M. hiemalis* e *M. luteus* foram pouco frequentes. As demais espécies foram raras nos solos inventariados (Tabela 2).

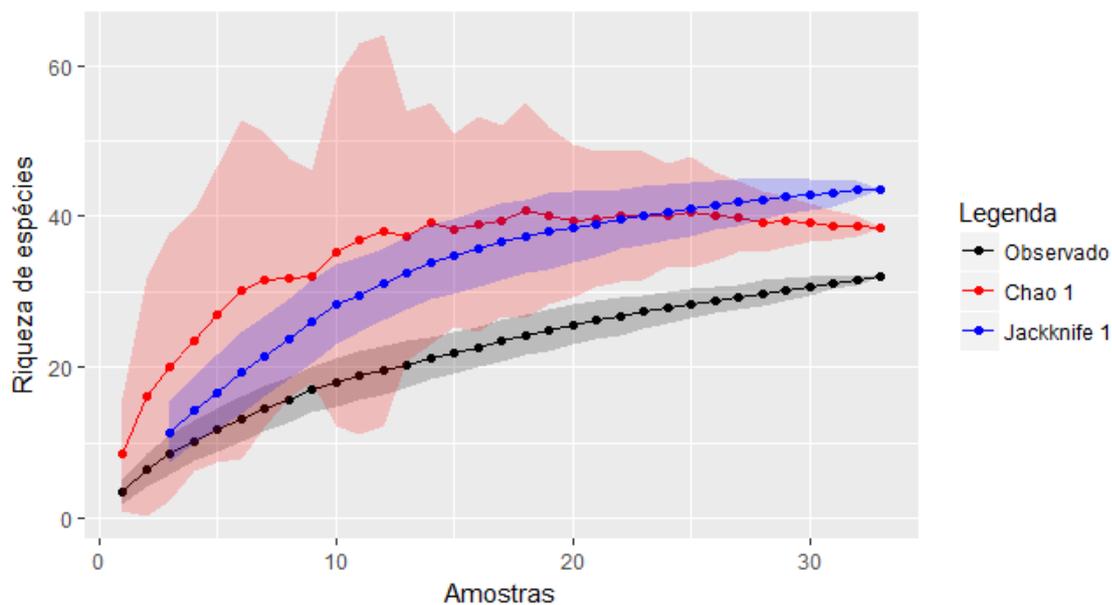
Tabela 2 - Abundância (A.) e frequência de ocorrência (F.O.) de Mucorales em solos da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.

<b>Mucorales</b>	<b>F.O. (%)</b>	<b>A. (%)</b>
<i>Absidia</i> sp. 1	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>Absidia</i> sp. 2	<b>21,36</b>	<b>0,167</b>
<i>Absidia</i> sp. 3	<b>3,84</b>	<b>0,027</b>
<i>A. cylindrospora</i>	<b>0,85</b>	<b>0,006</b>
<i>A. pseudocylindrospora</i>	<b>9,82</b>	<b>0,081</b>
<i>Actinomucor</i> sp.	<b>0,85</b>	<b>0,006</b>
<i>Backusella</i> sp.1	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>Backusella</i> sp. 2	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>Backusella</i> sp. 3	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>B. lamprospora</i>	<b>4,27</b>	<b>0,036</b>
<i>B. constricta</i>	<b>2,13</b>	<b>0,012</b>
<i>Cunninghamella</i> sp. 1	<b>2,99</b>	<b>0,021</b>
<i>Cunninghamella</i> sp. 2	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>C. bertholletiae</i>	<b>16,23</b>	<b>0,151</b>
<i>C. blakesleeana</i>	<b>0,85</b>	<b>0,006</b>
<i>C. clavata</i>	<b>1,28</b>	<b>0,009</b>
<i>C. echinulata</i> var. <i>echinulata</i>	<b>1,28</b>	<b>0,009</b>
<i>C. gigacelularis</i>	<b>1,28</b>	<b>0,009</b>
<i>Gongronella</i> sp. 1	<b>5,12</b>	<b>0,036</b>
<i>Gongronella</i> sp. 2	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>G. brasiliensis</i>	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>G. butleri</i>	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>Lichtheimia brasiliensis</i>	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>

<i>L. ramosa</i>	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>Mucor</i> sp. 1	<b>1,28</b>	<b>0,009</b>
<i>Mucor</i> sp. 2	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>M. pernambucoensis</i> sp. nov.	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>M. circinelloides</i> f. <i>circinelloides</i>	<b>3,41</b>	<b>0,024</b>
<i>M. circinelloides</i> f. <i>lusitanicus</i>	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>M. guilliermondii</i>	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>M. hiemalis</i>	<b>2,13</b>	<b>0,018</b>
<i>M. irregulares</i>	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>M. luteus</i>	<b>1,28</b>	<b>0,009</b>
<i>Rhizopus</i> sp. 1	<b>0,84</b>	<b>0,006</b>
<i>Rhizopus</i> sp. 2	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>R. microsporus</i>	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>R. stolonifer</i>	<b>11,53</b>	<b>0,094</b>
<i>Syncephalastrum</i> sp.	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>
<i>S. racemosum</i>	<b>0,42</b>	<b>0,003</b>

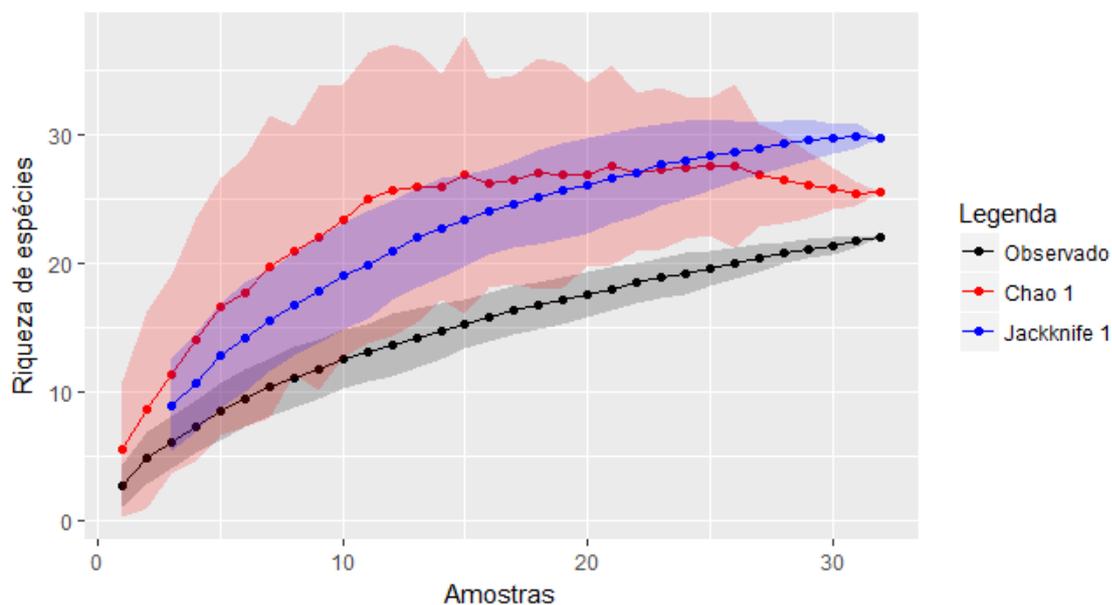
Os dados deste trabalho foram comparados utilizando os estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1. Para o Sítio da Palmeira, os valores observados foram = 26; Chao 1 = 35.428; Jackknife 1 = 38.593. Para a Serra de Bonito, foi observado = 40; Chao 1 = 51.769; Jackknife 1 = 59.393. Os indicadores Chao 1 e Jackknife 1 mostraram que a riqueza observada foi menor do que a esperada no solo dos dois brejos de altitude inventariados (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 da Serra de Bonito, PE.



Fonte: RIBEIRO, J.R. (2018)

Figura 7 - Estimadores de riqueza Chao 1 e Jackknife 1 do Sítio da Palmeira, PE.

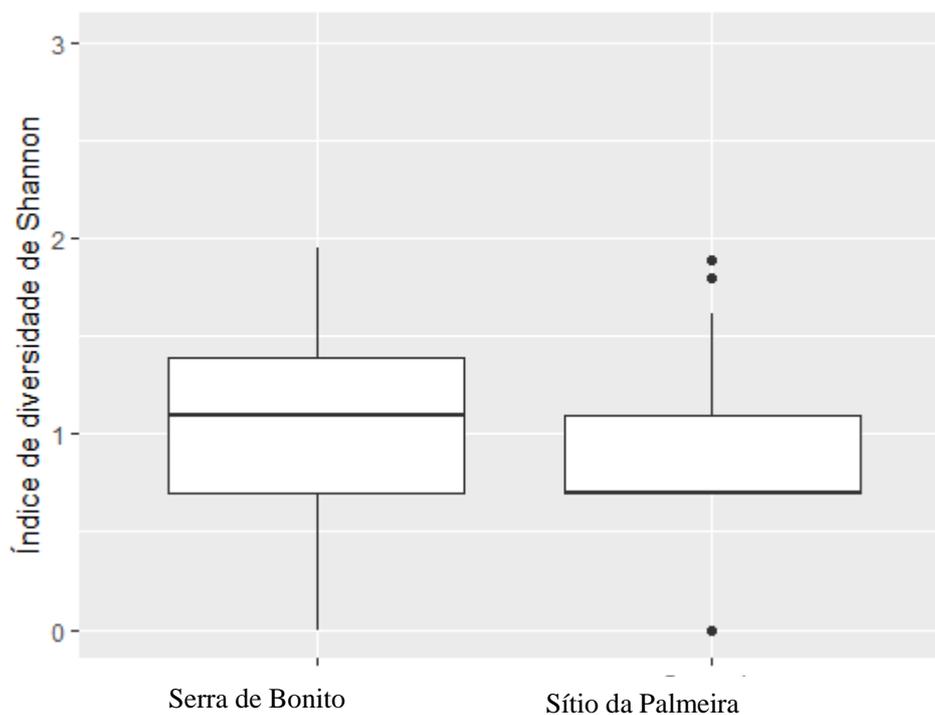


Fonte: RIBEIRO, J.R. (2018)

A diversidade de Mucorales foi mais elevada na Serra de Bonito ( $H' = 1.098$ ) do que no sítio da Palmeira ( $H' = 0.693$ ). Embora a área de Bonito tenha apresentado uma maior diversidade, o teste T entre as áreas não revelou diferenças significativas entre as diversidades

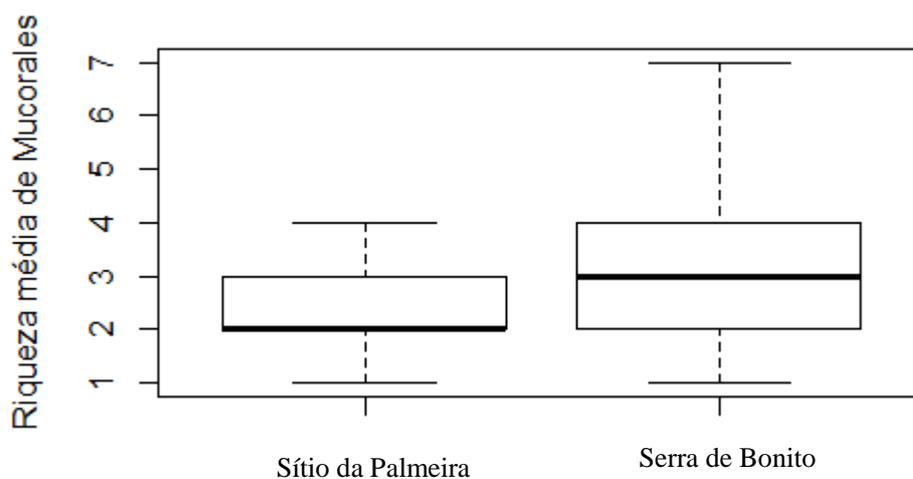
nos solos dos brejos inventariados ( $T = -0.958$ ;  $gl = 62.6$ ;  $p = 0.19$ ) (Figura 8). Da mesma forma, o teste de riqueza não revelou diferenças estatísticas significativas nos números de espécies de Mucorales isoladas dos dois brejos de altitude ( $T = -0.958$ ;  $df = 62.1$ ;  $p = 0.34$ ) (Figura 9).

Figura 8 - Diversidade (Shannon-Wiener) dos Mucorales nos solos do Brejo de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.



Fonte: RIBEIRO, J.R. (2018)

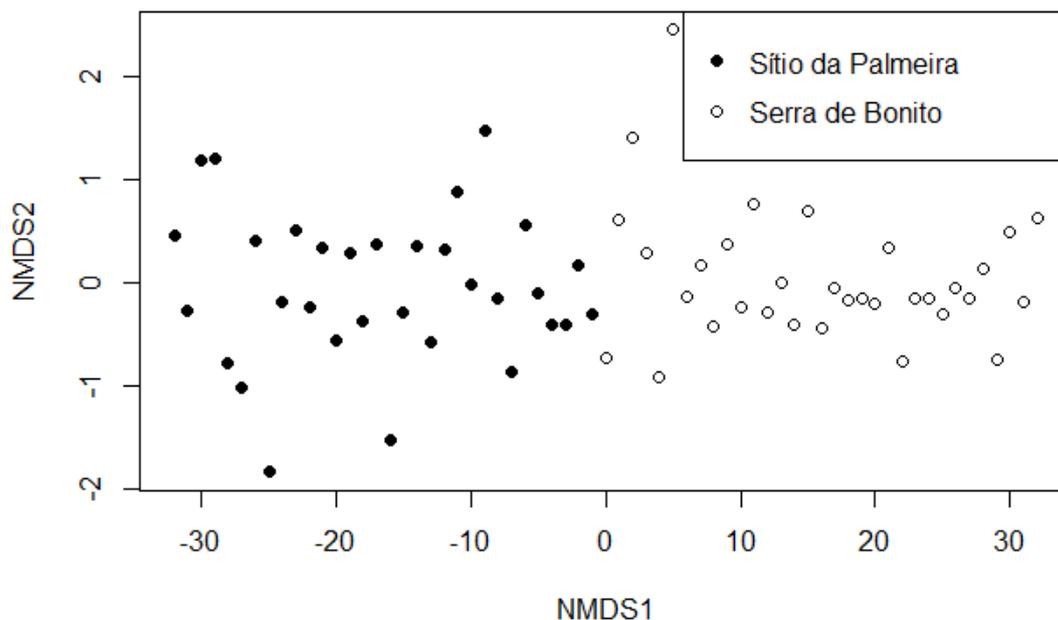
Figura 9 - Riqueza dos Mucorales nos solos do Brejo de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.



Fonte: RIBEIRO, J.R. (2018)

A análise de composição de espécies (NMDS) mostrou a existência de dois grupos bem definidos que representam cada uma das áreas (Figura 10). Este resultado foi confirmado pelo teste ANOSIM, sendo observados graus de dissimilaridade significativos ( $R = 0.825$ ;  $p < 0.001$ ) de composição das espécies entre as áreas de Sítio da Palmeira e Serra de Bonito.

Figura 10 - Análise de composição (NMDS) das comunidades de Mucorales na Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, PE.



Fonte: RIBEIRO, J.R. (2018)

#### 4.2 TAXONOMIA

*Mucor pernambucoensis* C.L. Lima, D.X. Lima & A.L. Santiago sp. nov.

##### Figura 11

Colônia inicialmente branca, tornando-se cinza (MP 111A), cobrindo toda a placa de Petri (9,0 cm de diâm. e 1,5 cm de altura) em 4 dias, em MEA; reverso amarelo-acastanhado (cor de mel) (MP 116J). Levemente aromática. Esporangióforos repetidamente simpodialmente ramificados (até seis vezes), 5–12  $\mu\text{m}$  de diâm., hialinos, parede lisa, crescendo diretamente do substrato, com ramificações curtas (maioria) ou longas. Algumas ramificações podem surgir logo abaixo dos esporângios. Esporângios inicialmente amarelos claros, tornando-se acastanhados com aspecto vítreo, globosos 14–60  $\mu\text{m}$  de diâm., parede ligeiramente equinulada. Columelas com parede lisa, hialinas, frequentemente globosas, 9,5–30  $\mu\text{m}$  de diâm. ou obovóides 14,5–35,0  $\times$  9,52  $\mu\text{m}$ , raramente piriformes 12,0–35,0  $\times$  9,5–

22,0 µm, algumas ovóides de 10,0–30,0 × 10,0–22,5 µm ou cilíndricas com base truncada 10,0–25,0 × 20,0–40,0 µm. Colar evidente. Esporangiosporos em maioria elipsoides 4,5–12,0 (14,5) × 2,5–5,0 µm, alguns elipsóides à fusiformes, às vezes achatados em um lado 4–6 × 2–5 µm, alguns irregulares em forma (alongada ou recurvada), hialinos, contendo um ou mais grânulos em cada extremidade. Clamidósporos globosos ou em forma de barril. Zigosporos não observados. Provavelmente heterotático.

**Etimologia.** Pernambucoensis. Referência ao Estado brasileiro de onde o espécimen foi isolado.

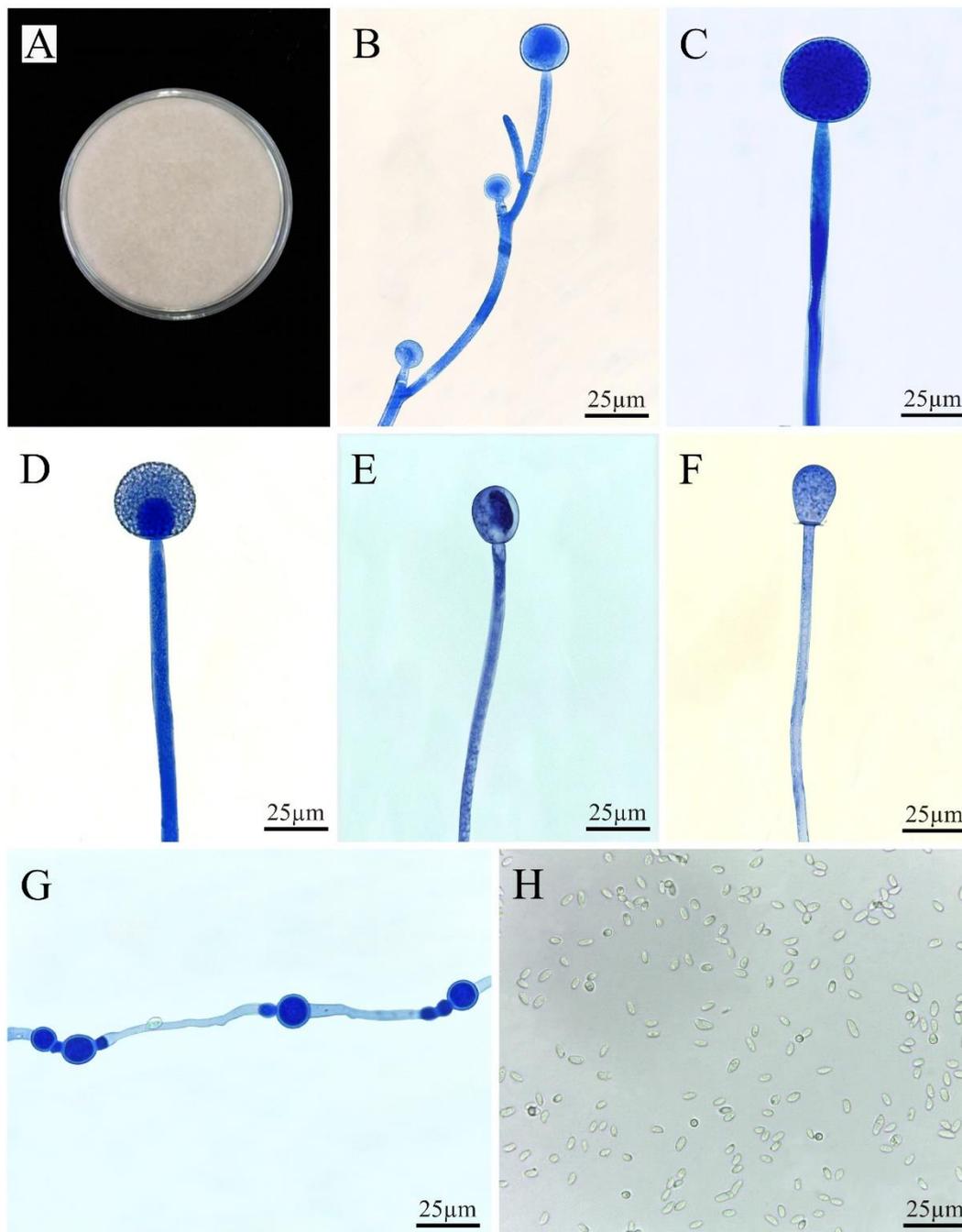
**Habitat:** Solo.

**Distribuição:** Bonito, Pernambuco (Brasil).

**Material examinado:** Brasil. Pernambuco: Bonito, Serra de Bonito (8°28'12"S 35 °43'44"W) em amostras de solo. (25 jul 2017) C.L. Lima. Holótipo (URM 7640).

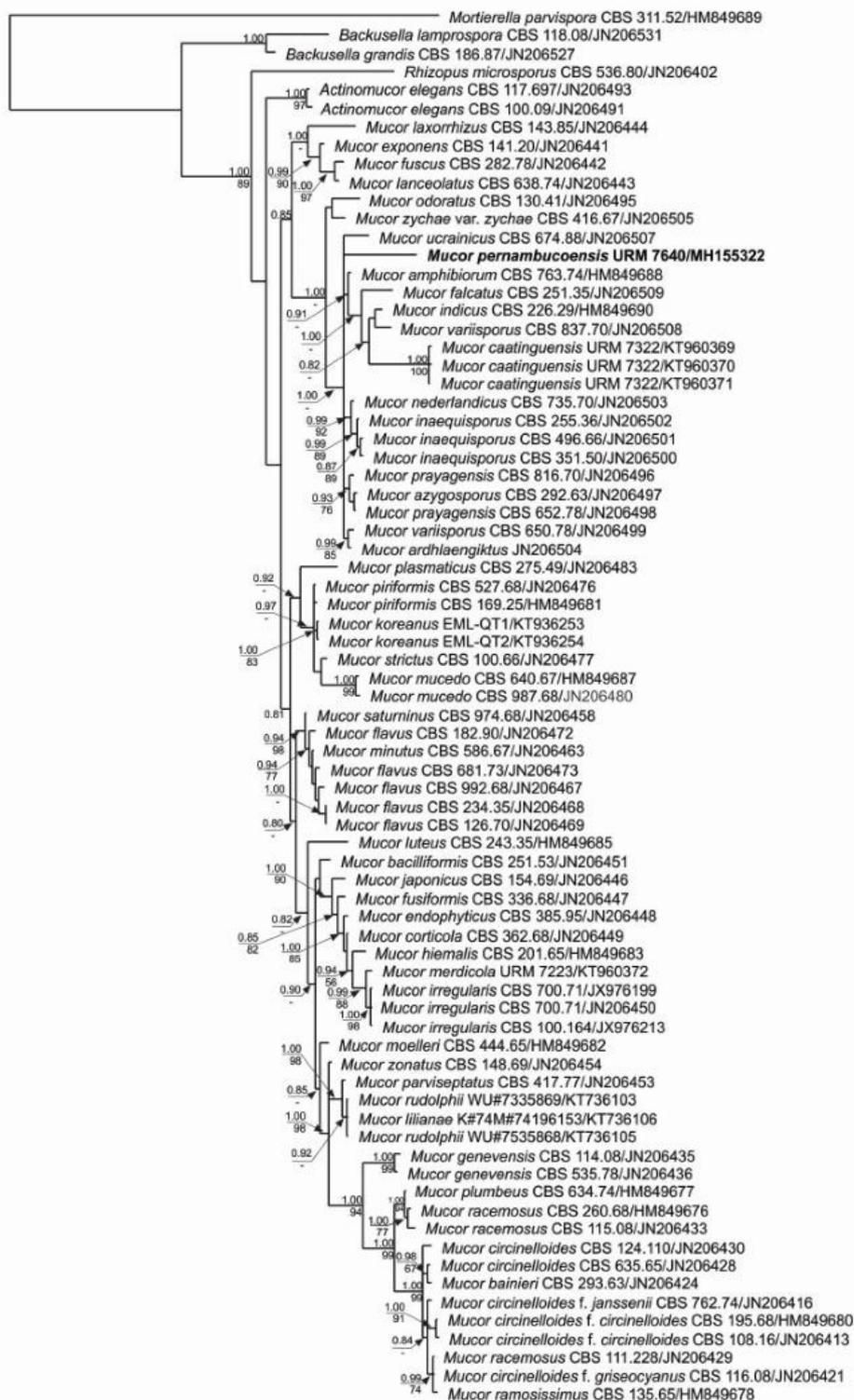
Meios de cultura e testes de temperatura: A 10 °C - ausência de crescimento; A 15 °C - crescimento limitado (1,3 cm em 3 dias), esporulação fraca. A 20 °C - bons crescimento e esporulação (9,0 cm em 5 dias). A 25 °C – crescimento e esporulação ótimos (9,0 cm em 4 dias). A 30 °C - crescimento e esporulação inferiores do que a 25 °C (9,0 cm em 6 dias). A 35 °C - ausência de crescimento. Crescimento semelhante em MEA e BDA em todas as temperaturas testadas, com esporulação ligeiramente melhor em AEM. Influência da luz: não detectada.

Figura 11 - *Mucor pernambucoensis* (URM 7640) A: verso da colônia após cinco dias a 25 °C em AEM; B: esporangióforos repetidamente simpodialmente ramificados com esporângios globosos; C, D: esporangióforos simples com esporângios globosos; E, F: esporangióforos com columelas; G: clamidosporos globosos; H: esporangiosporos.



Fonte: LIMA et al. (2018)

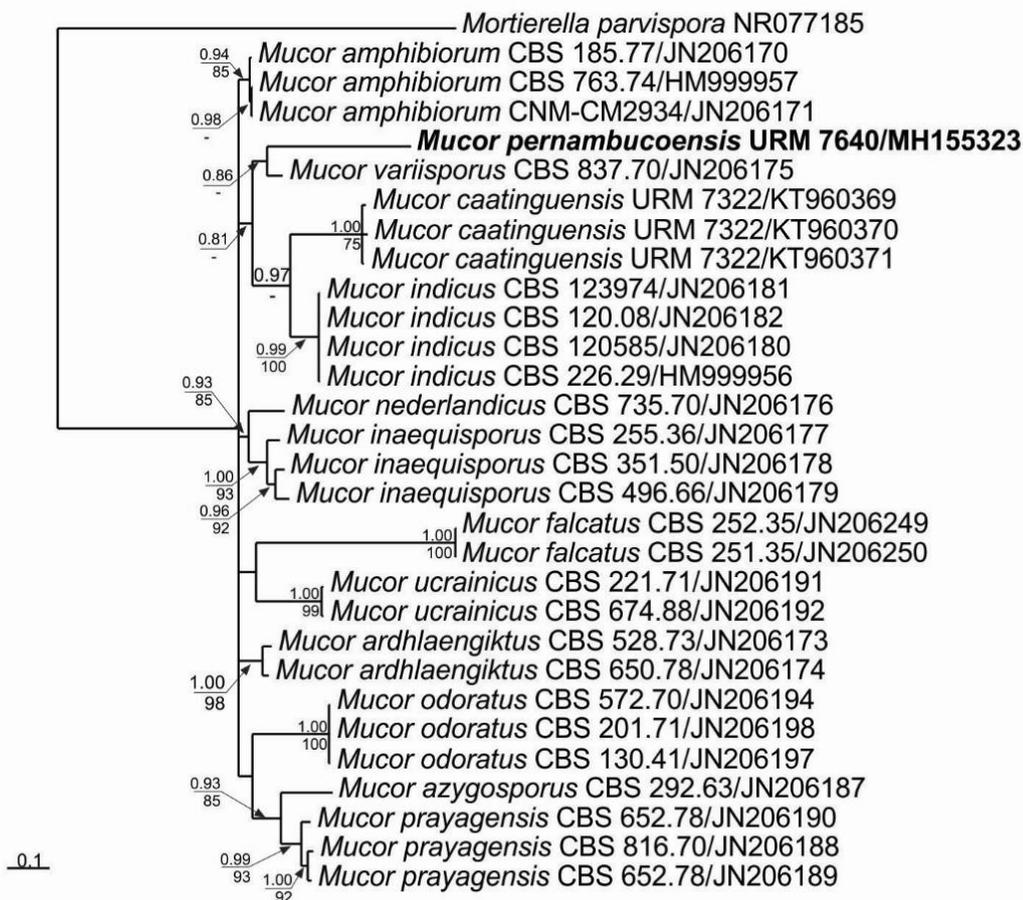
Figura 12 - Árvore filogenética de *Mucor pernambucoensis* construída usando as sequências LSU do rDNA. *Mortierella parvispora* foi usada como um grupo externo. As sequências estão rotuladas com os respectivos números de acesso ao GenBank. Os valores de suporte são da inferência bayesiana e das análises de máxima verossimilhança (valores acima e abaixo dos ramos, respectivamente). A sequência obtida neste estudo está em negrito.



0.1

Fonte: LIMA et al. (2018)

Figura 13 - Árvore filogenética de *Mucor pernambucoensis* construída usando as sequências ITS do rDNA. *Mortierella parvispora* foi usada como um grupo externo. As sequências estão rotuladas com os respectivos números de acesso no GenBank. Os valores de suporte são da inferência bayesiana e das análises de máxima verossimilhança (valores acima e abaixo dos ramos, respectivamente). A sequência obtida neste estudo está em negrito.



Fonte: LIMA et al. (2018)

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 ECOLOGIA DE MUCORALES EM DOIS BREJOS DE ALTITUDE DE PERNAMBUCO

Esse estudo reporta 39 táxons de Mucorales no solo da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira, contribuindo para o conhecimento da riqueza desses fungos em brejos de altitude do Brasil. Até o presente, os estudos sobre Mucorales nesse ecossistema foram realizados nos brejos de Triunfo (SANTIAGO et al., 2013), da Serra dos Cavalos, Serra Negra, de Jenipapo (ALVES, 2016) e Taquaritinga do Norte (TIBPROMMA et al., 2017), todos localizados em Pernambuco. Esses estudos, no entanto, reportaram 22 espécies de Mucorales, ordem pouco estudada no Brasil e cujos relatos estão concentrados nos domínios da Caatinga (27 táxons), Cerrado (16 táxons) e Mata Atlântica (66 táxons) (*Mucorales in Flora do Brasil 2020 em construção*, 2018).

*Absidia* sp. 2 apresentou a maiores frequências de ocorrência e abundância, seguida por *Cunninghamella bertholletiae* e *R. stolonifer*, sendo consideradas muito frequentes nas áreas inventariadas, enquanto a maioria das espécies foi rara. Esse resultado difere dos encontrados por Santiago et al. (2013), no solo do brejo de altitude de Triunfo - PE, que obtiveram *C. echinulata* como mais frequente, seguida por *A. cylindrospora* e *Lichtheimia hyalospora*, e por Alves (2016), que considerou *Cunninghamella* sp. 1 como muito frequente, seguida por *G. butleri* e *C. elegans* no solo dos brejos de altitude de Serra Negra e Jenipapo. O fato da maioria dos táxons terem sido raros nos solos dos brejos também foi verificado por Santiago et al. (2013) e Alves (2016). Estudos realizados sobre os Mucorales em outros domínios brasileiros apenas objetivaram o conhecimento da riqueza de espécies, não mensurando a frequência de ocorrência e abundância desses fungos (SCHOENLEI-CRUSIUS e MILANEZ, 1998; DE SOUZA et al., 2006; 2011; 2014).

Todas as espécies isoladas nesse trabalho foram pouco abundantes, tendo *Absidia* sp. 2, *C. bertholletiae* e *R. stolonifer* exibido as abundâncias mais elevadas dentre os isolados. Cordeiro (2014) também isolou *R. stolonifer* como uma das espécies mais abundantes no solo de Areia, Apodi, Mossoró, Quixadá, Quixeré e no Parque Nacional da Serra das Confusões. Santiago et al. (2013) isolaram *Absidia cylindrospora* e *Rhizopus microsporus* do semiárido de Pernambuco, apresentando também baixa abundância. Deve-se destacar que as áreas de coleta dos estudos supracitados são diferentes e, mesmo as que estão inseridas em um mesmo domínio, apresentam diferenças de pluviosidade e temperatura, o que pode explicar as

variações na abundância e frequência dos Mucorales isolados dos diferentes ecossistemas. Salienta-se que a baixa abundância das espécies de Mucorales observada nesse trabalho já era esperada, tendo em vista que outros trabalhos apontaram a baixa abundância desses fungos em relação aos espécimes dos outros filos de fungos comumente isolados do solo (SCHOENLEIN-CRUSIUS e MILANEZ, 1998; OLIVEIRA et al., 2013).

A comparação com outros trabalhos sobre a ocorrência de Mucorales em solo de Mata atlântica (LIMA, 2018), incluindo brejos de altitude (ALVES, 2016), além do semiárido (LIMA et al., 2015), mostra que a riqueza desses fungos nos brejos inventariados (39 espécies) foi elevada, quando comparada à riqueza de Mucorales verificada por Alvez (2016) (25) nos brejos de altitude da Serra Negra, dos Cavalos e de Jenipapo e por Lima et al. (2015) (13) em solo do Catimbau. As curvas de acumulação de espécies (Chao 1 e Jackknife 1) indicaram que a riqueza esperada não foi alcançada, sugerindo que coletas de solo adicionais devem ser realizadas para que a riqueza esperada seja atingida.

A diversidade de Mucorales, tanto na Serra de Bonito ( $H' = 1.098$ ) como no Sítio da Palmeira ( $H' = 0.693$ ), foi maior que a observada por Cabello e Arambarri (2002) ( $H' = 0.49$ ) em florestas em Buenos Aires, Argentina. Esses autores relataram que, quando comparada com a de outros fungos filamentosos presentes no solo ( $H' = 2.45$ ), a diversidade de Mucorales é menor. Entretanto, Santiago et al. (2013) reportaram elevada diversidade de Mucorales no brejo de Triunfo ( $H' = 2.85$ ). Embora numericamente o brejo da Serra de Bonito tenha apresentado maior diversidade em relação ao Sítio da Palmeira, o teste T não revelou ser significativa essa diferença. Esse fato pode ter ocorrido porque a diversidade está relacionada à riqueza de espécies (MAGURRAN, 1988) e, nesse estudo, não foram apontadas diferenças significativas na riqueza de espécies de Mucorales entre solos das duas áreas estudadas.

Quanto à composição de espécies, as comunidades de Mucorales da Serra de Bonito e do Sítio da Palmeira apresentaram baixa similaridade, formando comunidades distintas, resultado corroborado pela análise de similaridade ANOSIM, que testou o grau de dissimilaridade entre as áreas. Embora a Serra de Bonito e o Sítio da Palmeira estejam localizados em municípios vizinhos, compartilhando características vegetais, edáficas e climáticas semelhantes, o brejo do Sítio da Palmeira vem sendo desmatado para plantação de hortaliças e atividades pastoreias. A compactação do solo, provocada pelo pisoteio do gado, diminui a aeração (VZZOTTO et al., 2000) e a quantidade de água infiltrada no solo, aumentando o escoamento na superfície e lixiviando a matéria orgânica (MIGUEL et al.,

2009), além disso, as mudanças na comunidade de plantas de uma área, por exemplo, podem influenciar na composição microbiana presente na rizosfera (PANDEY e PALNI, 2007). O mesmo brejo ainda apresentou uma menor pluviosidade em relação ao brejo de Bonito. A baixa precipitação parece ser um fator determinante para o número de espécies de Mucorales, já que a oscilação a extremos da umidade do solo limita o desenvolvimento das comunidades fúngicas (SOUTO et al., 2008). Todos esses fatores podem contribuir consideravelmente para alteração na composição da comunidade fúngica.

*Absidia cylindrospora*, *Cunninghamella echinulata* var. *echinulata*, *C. elegans*, *Gongronella butleri*, *Lichtheimia brasiliensis*, *Mucor circinelloides*, *M. hiemalis*, *M. luteus*, *Rhizopus microsporus*, *R. stolonifer* e *Syncephalastrum racemosum*, presentes nesse trabalho, foram reportadas em solo da Caatinga (SANTIAGO e SOUZA-MOTTA, 2006; OLIVEIRA et al., 2013; SANTIAGO et al., 2013; LIMA et al., 2015), enquanto *B. constricta*, *C. blakesleeana*, *C. clavata*, *C. echinulata*, *C. gigacellularis*, *A. cylindrospora*, *M. circinelloides* f. *circinelloides*, *M. hiemalis* e *Rhizopus stolonifer* foram isoladas de solo da Mata Atlântica (SCHOENLEI-CRUSIUS e MILANEZ, 1998; SCHOENLEI-CRUSIUS et al., 2006; HYDE et al., 2016; LIMA et al., 2016; ALVES et al., 2017). *Cunninghamella clavata* foi citada pela primeira vez no hemisfério ocidental por Alves et al. (2017), no solo do Brejo dos Cavalos, Pernambuco, Brasil. Antes desse registro, a mesma espécie havia sido isolada uma única vez no sudoeste da china, em Guizhou-Yunnan (ZHENG e CHEN, 1998). Santiago et al. (2013) reportaram oito táxons de Mucorales no solo do brejo de Triunfo, incluindo *A. cylindrospora*, *C. echinulata* var. *echinulata*, *R. microsporus* e *R. stolonifer*, enquanto Alves (2016) e Alves et al. (2017) registraram *A. pseudocylindrospora*, *C. clavata*, *C. blakesleeana*, *C. bertholletiae*, *G. butleri* e *M. circinelloides* f. *circinelloides* nos brejos dos Cavalos, Jenipapo e Serra Negra, Pernambuco, corroborando os resultados do presente trabalho.

*Lichtheimia brasiliensis*, *L. ramosa*, *M. circinelloides* f. *lusitanicus* e *M. guilliermondii* estão sendo citadas pela primeira vez em solo de áreas de brejo de altitude, enquanto *Backusella constricta*, *B. lamprospora*, *Cunninghamella gigacellularis*, *Mucor irregulares* e *M. pernambucoensis* estão sendo reportadas tanto em brejo de altitude como no semiárido pela primeira vez. *Backusella constricta* foi descrita por Lima et al. (2016), a partir de um fragmento de Mata Atlântica em Recife, enquanto *B. lamprospora* foi isolada pela primeira vez no Brasil, como *M. lamprosporus*, por Trufem (1978), em solo de Mata Atlântica, e por de Souza et al. (2006), em folhas em decomposição em Mata Atlântica no estado de São Paulo. *Mucor irregulares* está sendo citada pela primeira vez para o Brasil.

*Absidia* (sp. 1, sp. 2 e sp. 3), *Actinomucor* sp., *Backusella* (sp. 1, sp. 2 e sp. 3), *Cunninghamella* (sp. 1 e sp. 2), *Gongronella* (sp. 1 e sp. 2), *Mucor* (sp. 1 e sp. 2), *Rhizopus* (sp. 1 e sp. 2) e *Syncephalastrum* sp. exibiram diferenças morfológicas em relação às outras espécies dos respectivos gêneros, sendo provavelmente novas. Dentre esses táxons, apenas uma espécie de *Mucor* teve as regiões ITS e LSU do rDNA sequenciadas. Os outros prováveis espécimes novos estão em processo de sequenciamento das regiões ITS e LSU do rDNA para confirmação genética.

Esse estudo reporta 39 táxons de Mucorales em solos de dois brejos de altitude do agreste do Brasil, contribuindo para o conhecimento da diversidade desses fungos nesse ecossistema. Esse resultado exhibe expressivas riquezas e diversidade de Mucorales no solo dos brejos inventariados, principalmente quando comparados a outros inventários em áreas de Caatinga e Mata Atlântica, incluindo os brejos de altitude (SANTIAGO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2013; LIMA et al., 2015; ALVES, 2016).

## 5.2 *MUCOR PERNAMBUCOENSIS* SP. NOV. (MUCORALES, MUCOROMYCOTA), UMA NOVA ESPÉCIE ISOLADA DE BREJO DE ALTITUDE DO BRASIL

Esse trabalho descreve *Mucor pernambucoensis* sp. nov., que foi isolada de solo da Serra de bonito, PE. Inicialmente, essa espécie poderia ser morfológicamente confundida com *M. caatinguensis* A.L. Santiago, C.A. de Souza e D.X. Lima, pois ambas produzem columelas e esporangiosporos variáveis em forma e tamanho, bem como esporangiosporos que contêm grânulos em cada extremidade. No entanto, *M. caatinguensis* produz esporangiosporos elipsoides e alguns subglobosos e globosos, bem como esporangióforos não ramificados (LI et al. 2016), em contraste com os esporangiosporos principalmente elipsoides, elipsoides à fusiformes, irregulares, e com os esporangióforos simpodialmente ramificados produzidos por *M. pernambucoensis* sp. nov.

A presença de grânulos nas extremidades dos esporangiosporos também foi observada em *M. bacilliformis* Hesselt., *M. caatinguesis*, *M. guilliermondii* Nadson & Filippov e *M. nederlandicus* Váňová (SCHIPPER, 1978). No entanto, os esporangiosporos dessas espécies são menores, nunca excedem  $7 \times 3 \mu\text{m}$ , enquanto os esporangiosporos de *M. pernambucoensis* sp. nov. podem atingir até  $14,5 \times 5 \mu\text{m}$ . Em termos de temperaturas de crescimento, *M. pernambucoensis* sp. nov. é semelhante à *M. bacilliformis*, *M. guilliermondii* e *M. nederlandicus* que podem crescer e esporular entre 15 e 30 °C, enquanto *M. caatinguesis*

pode crescer em até 40°C, provavelmente devido ao fato dessa última espécie ter sido isolada de uma região semi-árida (LI et al., 2016).

Embora essas cinco espécies sejam morfológicamente similares, *M. pernambucoensis* sp. nov. foi colocada em um clado separado das outras espécies de *Mucor* em nossas análises filogenéticas (regiões ITS e LSU rDNA), indicando ser geneticamente diferente de todas as espécies de fungos. Em Mucorales, sequências das regiões ITS e LSU do rDNA têm sido comumente utilizadas para a delimitação das espécies dos diferentes gêneros dessa ordem (ÁLVAREZ et al., 2011, HERMET et al., 2013, SANTIAGO et al., 2014, DE SOUZA et al., 2014, LI et al., 2016, VOGLMAYR e CLÉMENÇON, 2016). A árvore ITS construída nesse trabalho mostrou maior proximidade genética entre *M. pernambucoensis* sp. nov. e *M. variosporus* Schipper, com 85% de similaridade. Desta forma, as sequências de *M. pernambucoensis* sp. nov. foram aninhadas em clados bem suportados e divergentes dos das outras espécies conhecidas no gênero. Morfológicamente, *M. variosporus* caracteriza-se pela produção de esporangióforos altos ou simplesmente ramificados, bem como esporângios amarelos com até 150 µm de diâmetro (Schipper, 1978), diferindo de *M. pernambucoensis* sp. nov., que produz esporangióforos repetidamente simpodialmente ramificados e esporângios inicialmente amarelos claros, tornando-se acastanhados com até 60 µm de diâmetro.

Árvore da região LSU construída nesse trabalho mostrou maior proximidade entre *M. pernambucoensis* sp. nov., *M. amphibiorum* Schipper e *M. ucrainicus* Milko. No entanto, com base na morfologia de ambas as espécies, *M. amphibiorum* difere de *M. pernambucoensis* sp. nov., principalmente, devido ao padrão de ramificação dos esporangióforos que são repetidamente simpodialmente ramificados na última espécie e ao tamanho dos esporângios, que são menores em *M. pernambucoensis* sp. nov. com até 60 µm em diâmetro. Além disso, os esporangiosporos da nova espécie são principalmente elipsoides, diferindo dos globosos observados em *M. amphibiorum* (SCHIPPER, 1978). *Mucor ucrainicus* difere de *M. pernambucoensis* por produzir esporangióforos geralmente não ramificados, bem como esporângios maiores (até 175 µm de diâmetro). Os esporangiosporos da primeira espécie são principalmente elipsoides, mas menores (4,4–8 × 2,7–4,7 µm) do que os de *M. pernambucoensis* sp. nov. (SCHIPPER, 1978).

## 6 CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nessa pesquisa, dentro das condições pré-estabelecidas, concluí-se que:

*Absidia* sp. 1, *Absidia* sp. 2, *Absidia* sp. 3, *A. cylindrospora*, *A. pseudocylindrospora*, *Actinomucor* sp., *Backusella* sp. 1, *Backusella* sp. 2, *Backusella* sp. 3, *B. lamprospora*, *B. constricta*, *Cunninghamella* sp. 1, *Cunninghamella* sp. 2, *C. bertholletiae*, *C. clavata*, *C. echinulata* var. *echinulata*, *C. gigacelularis*, *Gongronella* sp. 1, *Gongronella* sp. 2, *G. brasiliensis*, *Lichtheimia ramosa*, *Mucor* sp. 1, *Mucor* sp. 2, *Mucor pernambucoensis*, *M. circinelloides* f. *circinelloides*, *M. circinelloides* f. *lusitanicus*, *M. guilliermondii*, *M. hiemalis*, *M. irregulares*, *M. luteus* e *Rhizopus stolonifer* fazem parte da micobiota do solo da Serra de Bonito - PE;

*Absidia* sp. 3, *Absidia* sp. 4, *A. pseudocylindrospora*, *B. lamprospora*, *Cunninghamella* sp. 1, *C. bertholletiae*, *C. blakesleeana*, *C. echinulata* var. *echinulata*, *C. gigacelularis*, *Gongronella* sp. 1, *G. butleri*, *Lichtheimia brasiliensis*, *Mucor* sp. 1, *Mucor* sp. 2, *M. circinelloides* f. *circinelloides*, *M. hiemalis*, *Rhizopus* sp. 1, *Rhizopus* sp. 2, *R. microsporus*, *R. stolonifer*, *Syncephalastrum* sp. e *S. racemosum* fazem parte da micobiota do solo do Sítio da Palmeira - PE;

*Absidia* sp. 2, *C. bertholletiae* e *R. stolonifer* são mais frequentes e abundantes no solo da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira – PE;

*Lichtheimia brasiliensis*, *L. ramosa*, *M. circinelloides* f. *lusitanicus* e *M. guilliermondii* estão sendo citadas pela primeira vez em solo de brejos de altitude do semiárido nordestino, enquanto *Backusella constricta*, *B. lamprospora*, *Cunninghamella gigacelularis*, *Mucor irregulares* e *M. pernambucoensis* estão sendo reportadas tanto em brejo de altitude como no semiárido pela primeira vez;

*Mucor pernambucoensis* é uma espécie nova;

*Absidia* sp. 1, *Absidia* sp. 2, *Absidia* sp. 3, *Actinomucor* sp., *Backusella* sp. 1, *Backusella* sp. 2, *Backusella* sp. 3, *Cunninghamella* sp. 1, *Cunninghamella* sp. 2, *Gongronella* sp. 1, *Gongronella* sp. 2, *Mucor* sp. 1, *Mucor* sp. 2, *Rhizopus* sp. 1, *Rhizopus* sp. 2 e *Syncephalastrum* sp. são prováveis espécies novas;

Solos da Serra de Bonito e Sítio da Palmeira são pouco similares em relação à composição de Mucorales;

A diversidade e riqueza de Mucorales não variam entre os solos dos dois brejos de altitude do Sítio da Palmeira e da Serra de Bonito;

Coletas adicionais de solo devem ser realizadas para que a riqueza esperada de Mucorales seja alcançada.

## REFERÊNCIAS

ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. 4<sup>o</sup> Edição. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 870.

ALMEIDA, W. R.; LOPES, A. V.; TABARELLI, M.; LEAL, I. R. The alien flora of Brazilian Caatinga: deliberate introductions expand the contingent of potential invaders. **Biol Invasions**, v. 17, n. 1, p. 51-56, 2014.

ÁLVAREZ, E.; CANO, J.; STCHIGEL, A. M.; SUTTON, D. A.; FOTHERGILL, A. W.; SALAS, V.; RINALDI, M. G.; GUARRO, J. Two new species of *Mucor* from clinical samples. **Medical mycology**, v. 49, n. 1, p. 62-72, 2011.

ALVES, A. L. S. M. **Diversidade de Mucorales em solos de brejo de altitude do semiárido de Pernambuco**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

ALVES, A. L. S. M.; DE SOUZA, C. A. F.; OLIVEIRA, R. J. V.; CORDEIRO, T. R. L.; SANTIAGO, A. L. C. M. A. *Cunninghamella clavata* from Brazil: a new record for the western hemisphere. **Mycotaxon**, v. 132, p. 381-389, 2017.

ANDRADE-LIMA, D. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. in: PRANCE, G.T. (Eds.). **Biological Diversification in the Tropics**, New York: Columbia University Press, 1982. p. 245–254.

APAC - Agência pernambucana de águas e climas. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio>>. Acesso em: 01/11/2017.

ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; MARTINS, F. R. Repartição da flora lenhosa no domínio da caatinga. In: ARAÚJO, F. S. et al. (Eds.). **Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga: Suporte a estratégias regionais de conservação**, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 446.

ARIYAWANSA, H. A. et al. Fungal Diversity Notes 111-246 - Taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal Diversity**, v. 75, p. 27-245, 2015.

BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS, J. C. M.; MIRANDA, J. L. F.; JUNIOR, L. C. S.; GALVÃO, M. J. T. G.; PEREIRA, S. N. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Bonito, Estado de Pernambuco. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Recife: Ministério de minas e energia/CPRM /PRODEEM, 2005. p. 20.

BELTRÃO, B. A., MASCARENHAS, J. C. M., MIRANDA, J. L. F., JUNIOR, L. C. S., GALVÃO, M. J. T. G., PEREIRA, S. N. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Camocim de São Félix, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. p. 11.

BENJAMIN, C. R.; HESSELTINE, C. W. The Genus *Actinomucor*. **Mycologia**, v. 49, p. 240-249, 1957.

BENJAMIN, R. K. The Merosporangiferous Mucorales. **Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany**, v. 4, p. 321-433, 1959.

BENNY, G. L. Zygomycetes. in Benny G. L. (Eds.). **Synopsis and Classification of Living Organisms**. McGraw - Hill Book Co. Inc., New York, 1982. P. 184-195.

BENNY, G. L.; HUMBER, R. A.; MORTON, J. B. The Zygomycota: Zygomycetes. In: McLaughlin, D. J.; McLaughlin, E. G.; Lemke, P. A. (Eds.). **The Mycota. Systematics and Evolution**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. p.184-195.

BENNY, G. L. The methods used by Dr. R. K. Benjamin, and other Mycologists to isolate Zygomycetes. **Aliso** 26: 37-61, 2008.

BENNY, G. L. Current systematics of Zygomycota with a brief review of their biology. In: MISRA, J. K.; Tewari, J. P.; Deshmukh, S. K. (Eds.) **Systematics and evolution of Fungi**. Science: Enfield, 2012. p. 55-105.

BENNY, G. L, et al. Challenges and Future Perspectives in the Systematics of Kickxellomycotina, Mortierellomycotina, Mucoromycotina, and Zoopagomycotina. In: LI, D.W. (org.) **Biology of Microfungi, Fungal Biology**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 65-126.

BioBras - Abraçando a Vida. Mata Atlântica. Disponível em: <<http://biobras.org.br/portal/?p=1382>>. Acesso em: 18/11/2017.

BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. PERRIER JÚNIOR, G. S. Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude - O caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 539-546, 2002.

CABELLO, M.; ARAMBARRI, A. Diversity in soil fungi from undisturbed and disturbed *Celtis tala* and *Scutia buxifolia* forests in the eastern Buenos Aires province (Argentina). **Microbiological research**, v. 157, n. 2, p. 115-125, 2002.

CÁCERES, M. E. S.; LÜCKING, R.; RAMBOLD, G. *Corticolous Microlichens* in Northeastern Brazil: Habitat Differentiation Between Coastal Mata Atlântica, Caatinga and Brejos de Altitude. **The Bryologist**, v. 111, p. 98-117, 2008.

CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – CSR/IBAMA BRASÍLIA. 2010. Disponível em:<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/relatorio\\_tecnico\\_caatinga\\_2008\\_2009\\_72.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_caatinga_2008_2009_72.pdf)>. Acesso em: 02/05/ 2017.

CORDEIRO, T. R. L. **Diversidade de Mucorales no Semiárido do Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

CÓRDULA, E.; QUEIROZ, L. P.; ALVES, M. Checklist da flora de Mirandiba, Pernambuco: Leguminosae. **Rodriguésia**, v. 59, n. 3, p. 597-602, 2008.

CORREIA, R. C.; KIILL, L. H. P.; MOURA, M. S. B.; CUNHA, T. J. F.; JESUS JUNIOR, L. A.; ARAUJO, J. L. P. A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Eds.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

DESIRÒ, A.; RIMINGTON, W. R.; JACOB, A.; VANDE POL, N.; SMITH, M. E.; TRAPPE, J. M.; BIDARTONDO, M. I.; BONITO, G. Multigene phylogeny of Endogonales, an early diverging lineage of fungi associated with plants. **IMA Fungus**, v. 8, n. 2, p. 245-257, 2017.

DE SOUZA, J. I. **Mucorales de solo contaminado com metais pesados na região do pólo cerâmico de Santa Gertrudes, SP: ocorrência e capacidade de biofixação de Chumbo e Zinco**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, 2006.

DE SOUZA, J. I.; AMORIM, P. Z.; CARMEN, I.; DOS SANTOS, J. F.; COSTA, J. P. Zygomycetes from “Reserva Biológica de Mogi Guaçu”, São Paulo State, Brazil. **Mycotaxon**, v. 116, p. 303-312, 2011.

DE SOUZA, J. I.; MARANO, A. V.; PIRES-ZOTARELLI, C. L. A.; CHAMBERGO, F. S.; HAKAKAVA, R. A new species of Backusella (Mucorales) from a Cerrado reserve in Southeast Brazil. **Mycological Progress**, v. 13, n. 4, p. 975-980, 2014.

DE SOUZA, C. A. F.; LIMA, D. X.; OLIVEIRA, R. J. V.; GURGEL, L. M. S.; SANTIAGO, A. L. C. M. *Mucor indicus* isolated from the semiarid region of Brazil: a first record for South America. **Mycotaxon**, v. 131, n. 4, p. 897-906, 2016.

DE SOUZA, C. A. F.; LIMA, D. X.; GURGEL, L. M. S.; SANTIAGO, A. L. C. M. A. Coprophilous Mucorales (ex Zygomycota) from three areas in the semi-arid of Pernambuco, Brazil. **Brazilian journal of microbiology**, v. 4, p. 79-86, 2017.

DUARTE, E. A. El Subphylum Mucoromycotina: generalidades y aspectos taxonómicos recientes (Mucoromycotina Subphylum: overview and recent taxonomic aspects). **Boletín micológico**, v. 28, p. 16-25, 2013.

EMBRAPA - Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2015. Disponível em: Acesso em: fevereiro de 2018.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PEREIRA, R. C. A. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, 7-15, 1998.

FEREIRA, J. A.; LENNARTSSON, P. R.; EDEBO, L.;TAHERZADEH, M. J. Zygomycetes based biorefinery: Present status and future prospects. **Bioresource technology**, v. 135, p. 523-532, 2013.

FREIRE, F. C. O.; GONÇALVES, F. J. T. A Diversidade Microbiológica da Caatinga Cearense. **Essentia**, v. 14, p. 11-34, 2012.

FREIRE, K. T. L. S.; ARAÚJO, T. R.; BEZERRA, J. D. P.; BARBOSA, R. N.; SILVA, D. C. V.; SVEDESE, V. M.; PAIVA, L. M.; SOUZA-MOTTA, C. M. Fungos Endofíticos de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae) sadia e infestada por *Dactylopius opuntiae* (Cockerell, 1896) (Hemiptera: Dactylopiidae). **Gaia Scientia**, v. 9, p. 104-110, 2015.

FRIES, E.M. Systema Mycologicum, v. 3, n. 2, p. 261-524, 1832.

FUNDAÇÃO ARARIPE. Projeto Araripe: conhecendo o Araripe – Crato, CE: Recursos Naturais e Patrimônio. 1998.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. 2014. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/17811/divulgados-novos-dados-sobre-o-desmatamento-da-mata-atlantica/>>. Acesso em: 05/02/2018.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. *In*: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Eds.). **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. p. 3-11.

GIULIETTI, A. M.; NETA, A. L. B.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. (Eds.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Recife: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-90.

GÓES-NETO, A.; LOGUERCIO-LEITE, C.; GUERRERO, R. T. DNA extraction from frozen fieldcollected and dehydrated herbarium fungal basidiomata: performance of SDS and CTAB-based methods. **Biotemas**, v. 18, n. 2, p. 19-32, 2005.

GONZÁLEZ, V.; TELLO, M. L. The endophytic mycota associated with *Vitis vinifera* in central Spain. **Fungal Diversity**, v. 47, p. 29-42, 2011.

GUSMÃO, L. F. P.; BARBOSA, F. R.; BARBOSA, F. F. Fungos Conidias. *In*: GUSMÃO, L. F. P.; MAIA, L. C. (Eds.). **Diversidade e caracterização dos fungos no semi-árido**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. p. 27-47.

HARMAN, M.; UÇMAK, D.; DAL, T. Mucormycosis in scalp. **Acta Médica Portuguesa**, v. 26, p. 754-757, 2013.

HERMET, A.; MÉHEUST, D.; MONUNIER, J.; BARBIER, G.; JANY, J. L. Molecular systematics in the genus *Mucor* with special regards to species encountered in cheese. **Fungal Biology**, v. 116, n. 6, p. 692-705, 2013.

HIBBETT, D. S. et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. **Mycological Research**, v. 3, p. 509-547, 2007.

HOFFMANN, K.; DISCHER, S.; VOIGT, K. Revision of the genus *Absidia* (Mucorales, Zygomycetes) based on physiological, phylogenetic, and morphological characters; thermotolerant *Absidia* spp. form a coherent group, *Mycocladiaceae* fam. nov. **Mycological Research**, v. 111, p. 1169-1183, 2007.

HOFFMANN, K.; VOIGT, K.; KIRK, P. M. *Mortierellomycotina* subphyl. nov., based on multi-gene genealogies. **Mycotaxon**, v. 115, n. 1, p. 353-363, 2011.

HOFFMANN, K.; PAWŁOWSKA, J.; WALTHER, G.; WRZOSEK, M.; HOOG, G. S.; BENNY, G. L.; KIRK, P. M.; VOIGT, K. The family structure of the Mucorales: a synoptic revision based on comprehensive multigene-genealogies. **Persoonia**, v. 30, p. 57-76, 2013.

HYDE, K. D.; SARMA, V. V. A review on frequently occurring fungi in mangroves. **Fungal Diversity**, v. 8, p. 1-34, 2001.

HYDE, K. D. et al. Fungal diversity notes 367-490: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal Diversity**, v. 80, p. 1-270, 2016.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. Disponível em:. Acesso em: agosto 2017.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2005. Disponível em:. Acesso em: fevereiro 2018.

INOCENCIO, L. S. **Revisão taxonômica das espécies de *Manihot* Mill. (Euphorbiaceae, Crotonoideae, Manihoteae) com folhas inteiras, não lobadas ou curtamente lobadas.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, 2016.

JACOMINE, P. T. K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 96-111.

JAMES, T. Y.; O'DONNELL, K. 2007. Zygomycota. Microscopic 'pin' or 'sugar' Molds. Disponível em: <http://tolweb.org/Zygomycota>. Acesso em: 20/09/2017.

JIN, H.; YAN, Z.; LIU, Q.; YANG, X.; CHEN, J.; QIN, B. Diversity and dynamics of fungal endophytes in leaves, stems and roots of *Stellera chamaejasme* L. China. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 104, p. 949-963, 2013.

KIRK, P. M. Fungi - Classification of Zygomycetes. In: ROBINSOSN, R. K.; BATT, C. A.; PATEL, P. (Eds.). **Encyclopedia of food Microbiology.** Londres: Academic Press, 1999. p. 882-887.

KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; MINTER, D. W.; STALPERS, J. A. **Dictionary of the Fungi.** 10ª Edição. UK, Wallingford: CABI, 2008.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C. M.; HEIS-VACCARI, E. M.; MELO, N. T. **Tratado de micologia médica.** 9ª Edição. São Paulo: Sarvier, 2002.

LARKIN, M. A.; BLACKSHIELDS, G.; BROWN, N. P.; CHENNA, R.; MCGETTIGAN, P. A.; MCWILLIAM, H.; VALENTIN, F.; WALLACE, I. M.; WILM, A.; LOPEZ, R.; THOMPSON, J. D.; GIBSON, T. J.; HIGGINS, D. G. Clustal Wand Clustal X version 2.0. **Bioinformatics**, v. 23, n. 21, 2947-2948, 2007.

LI, G. J. et al. Fungal diversity notes 253–366: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal Diversity**, v. 78, n. 1, p. 1-237, 2016.

LIMA, D. X.; SANTIAGO, A. L. C. M.; SOUZA-MOTTA C. M. Diversity of Mucorales in natural and degraded semi-arid soils. **Brazilian Journal Botany**, v. 38, n. 1, p. 1-9, 2016.

LIMA, D. X.; VOIGT, K.; DE SOUZA, C. A.; DE OLIVEIRA, R. J.; SOUZA-MOTTA, C. M.; SANTIAGO, A. L. D. A. Description of *Backusella constricta* sp. nov. (Mucorales, ex Zygomycota) from the Brazilian Atlantic Rainforest, including a key to species of *Backusella*. **Phytotaxa**, v. 289, n. 1, p. 59-68, 2016.

LIMA, D. X.; CORDEIRO, T. R. L.; DE SOUZA, C. A. F.; SANTIAGO, A. L. C. M.; SOUZA-MOTTA, C. M. Diversity of basal fungal order Mucorales (Mucoromycota) in a remaining area of the Brazilian Atlantic Rainforest. **Nova Hedwigia**, v. 107, p. 459-471, 2018.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JÚNIOR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, p. 139-146, 2005.

MAIA, L. C.; CARVALHO, J. R. A. A. 2014. *Fungos* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB128479>>. Acesso em: 27/08/2014.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 1988. p. 179.

MARTINEZ, L. P. P.; HERTWECK, C. Pathogenic fungus harbors endosymbiotic bacteria for toxin production. **Nature**, v. 437, p. 884-888, 2005.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1513-1519, 2009.

MILNE et al. TOPALi: Software for automatic identification of recombinant sequences within DNA multiple Alignments. **Bioinformatics**, v. 20, p. 1806-1807, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos

biomas brasileiros. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2002. p. 404.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2004. Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais da Floresta Nacional do Araripe - Apodi. Crato, CE. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/incendiosflorestais/planosoperativos>> Acesso em: 27/03/2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>> Acesso em: 25/03/2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>> Acesso em: 27/03/2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Os organismos do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. (Eds.). **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: UFLA, 2006. p. 17-82.

MORELLATO, L. P. C; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, p. 786-792, 2000.

*Mucorales* in Lista de Espécies da Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <[floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil](http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil)>. Acesso em: 05/02/2018.

NYFFELER, R. Phylogenetic Relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence from trnk/ matk and trnl-trnf sequences. **American Journal of Botany**, v. 89, n. 2, p. 312-326, 2002.

OLIVEIRA, L. G.; CAVALCANTI, M. A. Q.; FERNANDES, M. J. S.; LIMA, D. M. M. Diversity of filamentous fungi isolated from the soil in the semiarid area, Pernambuco, Brazil. **Journal of arid environments**, v. 95, p. 49-54, 2013.

PANDEY, A.; PALNI, L. M. S. The rhizosphere effect in trees of the Indian Central Himalaya with special reference to altitude. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 93-102, 2007.

PEREIRA FILHO, G. A.; MONTINGELLI, G. G. Check list of snakes from the Brejos de Altitude of Paraíba and Pernambuco, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 1-7, 2011.

R CORE TEAM. 2017. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computin. Disponível em: <[https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).2017>.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, M. J. C. (Eds.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.

RIBEIRO, M. C.; MARTENSEN, A. C.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: ZACHOS, F.; HABEL, J. (Eds.) **Biodiversity Hotspots**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 405-434.

RICHARDSON, M. The ecology of the Zygomycetes and its impact on environmental exposure. **Clinical Microbiology and Infection**, v. 15, p. 2-9, 2009.

RODAL, M. J. N.; SALES, M. F.; SILVA, M. J.; SILVA, A. G. S. Flora de um Brejo de Altitude na escarpa oriental do planalto da Borborema, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 843-858, 2005.

RODRIGUES, P. C. G.; CHAGAS, M. G. C.; SILVA, F. B. R.; PIMENTEL, R. M. M. Ecologia dos brejos de altitude do agreste pernambucano. **Revista de Geografia**, v. 25, p. 20-34, 2008.

RONQUIST, F.; HUELSENBECK, J. P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. **Bioinformatics**, v. 19, n. 12, p. 1572-1574, 2003.

SANTIAGO, A. C. P.; BARROS, I. C. L.; SYLVESTRE, L. S. Pteridófitas ocorrentes em três fragmentos florestais de um brejo de altitude (Bonito, Pernambuco, Brasil). **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 781-792, 2004.

SANTIAGO, A. L. C. M. A.; SOUZA-MOTTA, C. M. Mucorales isolados do solo de mineração de cobre e produção de amilase e inulinase. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 641-647, 2006.

SANTIAGO, A. L. C. M. A.; SOUZA-MOTTA, C. M. Isolation of Mucorales from processed maize (*Zea mays* L.) and screening for protease activity. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 698-700, 2008.

SANTIAGO, A. L. C. M. A.; MAIA, L. C. Two new records of Mucorales from the Brazilian semi-arid region. **Mycotaxon**, v. 114, p. 171-177, 2010.

SANTIAGO, A. L. C. M. A.; SANTOS, P. J. P.; MAIA, L. C. Mucorales from the semiarid of Pernambuco, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 44, p. 1678-4405, 2013.

SANTIAGO, A. L. C. M. A.; HOFFMANN, K.; LIMA, D. X.; OLIVEIRA, R. J. V.; VIEIRA, H. E. E.; MALOSSO, E.; MAIA, L. C.; DA SILVA, G. A. A new species of *Lichtheimia* (Mucoromycotina, Mucorales) isolated from Brazilian soil. **Mycological Progress**, v. 13, n. 2, p. 343-352, 2014.

SÁTIRO, L. N.; ROQUE, N. A família *Euphorbiaceae* nas caatingas arenosas do médio Rio São Francisco, BA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 99-118, 2008.

SCHIPPER, M. A. A. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. **Studies in Mycology**, v. 17, p. 1-69, 1978.

SCHIPPER, M. A. A. A revision of the genus *Rhizopus* I. The *Rhizopus stolonifer* group and *Rhizopus oryzae*. **Studies in Mycology**, v. 25, p. 1-34, 1984.

SCHIPPER, M. A. A. On certain species of *Mucor* with a key to all accepted species. **Studies in Mycology**, v. 25, p. 1-53, 1990.

SCHMITT, I.; CRESPO, A.; DIVAKAR, P. K.; FANKHAUSER, J. D.; HERMAN-SACKETT, E.; KALB, K.; NELSEN, M. P.; NELSON, N. A.; RIVAS-PLATA, E.; SHIMP, A. D.; WIDHELM, T.; LUMBSCH, H. T. New primers for promising single-copy genes in fungal phylogenetics and systematics. **Persoonia**, v. 23, p. 35-40, 2009.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MILANEZ, A. I. Fungos microscópicos da Mata Atlântica de Paranapiacaba, São Paulo, Brasil. **Revista brasileira de Botânica**, v. 21, p. 73-79, 1998.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MILANEZ, A. I. Fungos microscópicos da Mata Atlântica de Paranapiacaba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.21, n.1, p.73-79, 1998.

SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H.; MILANEZ, A. I.; TRUFEM, S. F. B.; PIRESZOTTARELLI, C. L. A.; GRANDI, R. A. P.; SANTOS, M. L.; GIUSTRA, K. C. Microscopic fungi in the Atlantic Rainforest in Cubatão, São Paulo, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 267-275, 2006.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SILVA, P. C. G. da. (Eds.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 19-48.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; MIRANDA, J. R. P.; SANTOS, R. V.; ALVES, A. R. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 32, p. 151-160, 2008.

SOUZA, A. F. S.; LEITÃO, M. C. G.; BATISTA, A. M.; PORTO, A. L. F.; FILHO, J. L. L.; GUERRA, M. M. P. Proteínas do plasma seminal de caprinos relacionadas com o índice pluviométrico e a qualidade do sêmen. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1166-1172, 2009.

SPATAFORA, J.W. et al. A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. **Mycologia** v. 108. n. 5, p. 1028–1046, 2016.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. in: ARAÚJO et al., (Eds.) **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: Universidade federal de Pernambuco, 2002. p. 47-52.

TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. In: PORTO, K. C.; JAIME, J. P.; TABARELLI, M. (Eds.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 17–22.

TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005.

TAMURA, K.; STECHER, G.; PETERSON, D.; FILIPSKI, A.; KUMAR, S. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. **Molecular Biology Evolution**, v. 30, p. 2725-2729, 2013.

TIBPROMMA, S. et al. Fungal diversity notes 491–602: taxonomic and phylogenetic contributions to fungal taxa. **Fungal Diversity**, v. 83, n. 1, p. 1-261, 2017.

TRUFEM, S. F. B. **Mucorales (Zygomycetes) do Estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Escola Paulista de Medicina, 1978.

TRUFEM, S. F. B. Mucorales do Estado de São Paulo 1: Gênero *Mucor* Micheli. **Rickia**, v. 9, p. 81-91, 1981a.

TRUFEM, S.F.B. Mucorales do Estado de São Paulo 2: Gêneros *Absidia* van Tieghem, *Gongronella* Ribaldi e *Rhizopus* Ehrenberg. **Rickia**, v. 9, p. 99-106, 1981b.

TRUFEM, S. F. B. Mucorales do Estado de São Paulo 3. Gêneros *Circinella* van Tieghem, Le Monnier e *Cunninghamella* Matruchot. **Rickia**, v. 9, p. 113-120, 1981c.

TRUFEM, S. F. B. Diversidade no Reino Fungi: Zygomycota. In: JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. M. (Eds.) **Biodiversidade no Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX**. São Paulo: FAPESP, 1999. p. 35-42.

TRUFEM, S. F. B.; MAIA, L. C.; MOTTA, C. M. S.; SANTIAGO, A. L. C. M. A. Filo Zygomycota (Capítulo V). In: Gusmão, L. F. P.; Maia, L. C.; (Org.). **Diversidade e caracterização dos fungos do Semi-árido Brasileiro**. Recife: Associação Plantas do Nordeste-APNE, 2006. p. 97-107.

UPADHYAY, H. P. Soil fungi from north-east and north Brazil - VII. The genus *Gongronella*. **Nova Hedwigia**, v. 17, p. 65-73, 1969.

VAN TUINEN, D.; ZHAO, B.; GIANINAZZI-PEARSON, V. PCR in studies of AM fungi: from primers to application. In: VARMA, A. K. (Eds.). **Berlim: Mycorrhizal manual**, Springer, 1998. p. 387-399.

VERSIEUX, L. M.; WENDT, T. *Bromeliaceae* diversity and conservation in Minas Gerais state, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2989-3009, 2007.

VIJAYABALA, G. S.; ANNIGERI, R. G.; SUDARSHAN, R. Mucormycosis in a diabetic ketoacidosis patient. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 3, p. 830-833, 2013.

VOGLMAYR, H.; CLÉMENÇON, H. Identification and taxonomic position of two mucoralean endoparasites of *Hysterangium* (Basidiomycota) based on molecular and morphological data. **Mycological Progress**, v. 15, n. 1, p. 1-17, 2016.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. Santa Maria. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.

WANG, Y.; LIU, X.; ZHENG, R. Four New Species Records of *Umbelopsis* (Mucoromycotina) from China. *Journal of Mycology*, v. 2013, p. 1-7, 2013.

WHITE, T. J.; BRUNS, T.; LEE, S.; TAYLOR, J. 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, 1990. p. 315-322.

ZANIRATO, S. H. **O patrimônio natural do Brasil**. Projeto História, n. 40, p. 127-145, 2010.

ZAK, J. C.; WILLIG, M. R. Fungal Biodiversity Patterns. In: MUELLER, G. M.; BILLS, G. F.; FOSTER, M. S. (Eds.). **Biodiversity of fungi. Inventory and monitoring methods**. Amsterdam: Elsevier, 2004. p. 59-75.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q. *Cunninghamella clavata* sp. nov., a fungal with an unusual type of branching of sporophore. **Mycotaxon**, v. 69, p. 187-198, 1998.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q. A. Monograph of *Cunninghamella*. **Mycotaxon**, v. 80, p. 1-75, 2001.

ZHENG, R. Y.; CHEN, G. Q.; HUANG, H.; LIU, X.; Y. A Monograph a *Rhizopus*. **Sydowia**, v. 59, n. 2, p. 273-372, 2007.