

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

LARISSA CARDOSO VIEIRA

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM UM
GRADIENTE DE ALTITUDE NA CHAPADA DIAMANTINA, BRASIL**

RECIFE
2016

LARISSA CARDOSO VIEIRA

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM UM
GRADIENTE DE ALTITUDE NA CHAPADA DIAMANTINA, BRASIL**

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

Área de Concentração: Micologia básica

Orientador: Prof. Dr. Gladstone Alves da Silva

Co-orientadora: Dra. Danielle Karla Alves da Silva

RECIFE
2016

Catálogo na fonte
Elaine Barroso
CRB 1728

Vieira, Larissa Cardoso

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em um gradiente de altitude na Chapada da Diamantina, Brasil / Larissa Cardoso Vieira - Recife: O Autor, 2016.

51 folhas: il., fig., tab.

Orientador: Gladstone Alves da Silva

Coorientadora: Danielle Karla Alves da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.

Centro de Biociências. Biologia de Fungos, 2016.

Inclui referências

1. Fungos 2. Micorriza 3. Diamantina, Chapada (BA) I. Silva, Gladstone Alves da (orient.) II. Silva, Danielle Karla Alves da (coorient.) III. Título

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CB-2017- 430

LARISSA CARDOSO VIEIRA

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM UM
GRADIENTE DE ALTITUDE NA CHAPADA DIAMANTINA, BRASIL**

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

Aprovada em: 26 / 02 / 2016

COMISSÃO EXAMINADORA

Dra. Danielle Karla Alves da Silva – (Co-orientadora)/ Universidade Federal do Vale do São Francisco

Dr. João Ricardo Gonçalves de Oliveira – Examinador Externo – Titular/ Universidade Federal da Paraíba

Dra. Renata Gomes de Souza – Examinador Interno – Titular/ Universidade Federal
Universidade Federal de Pernambuco

Aos meus pais, Fátima e Benedito,
minha irmã, Luana, e meu noivo,
Filipe.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por iluminar meus caminhos.

Aos meus pais, Fátima e Benedito pelo incentivo, amor, união, por me ajudar nas horas mais difíceis e apoiar as minhas decisões.

Ao meu noivo, Filipe, pelo amor, paciência, incentivo, companheirismo, por entender minhas ausências e pela ajuda em vários momentos.

À minha irmã, Luana, pela amizade, compreensão e momentos de diversão e pela ajuda neste trabalho.

Ao professor Gladstone pela orientação, incentivo, amizade, compreensão e seus conselhos sábios.

À Danielle Karla, pela co-orientação, amizade e ajuda em tantos momentos deste trabalho.

À Fritz Oehl pela amizade, sugestões e auxílio na identificação das espécies.

Ao Dr. João Ricardo e à Dra. Renata Gomes por participarem como titulares e às Dras. Adália Mergulhão e Adriana Melo por ser membros suplentes deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À Daniele Magna e Camila Melo, pela ajuda em algumas etapas do trabalho, pela amizade e alegria.

À Juliana, Frederico, Iolanda, Maiely e Catarina por tornar os dias de trabalho mais felizes.

Aos colegas do laboratório de micorrizas pelo aprendizado diário.

Ao guia Edwilson, pela amizade, informações e auxílio durante a coleta.

E a todos que me ajudaram em algum momento neste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Em áreas montanhosas, alterações de fatores bióticos e abióticos estão diretamente relacionados à modificação do gradiente de altitude e estas atuam modelando a biodiversidade inclusive dos microrganismos presentes no solo. Dentre estes, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são importantes por realizar associação mutualística com os hospedeiros vegetais. Os FMA já foram estudados mundialmente em áreas montanhosas, nas quais frequentemente são conhecidas novas espécies, porém a disposição da estrutura da comunidade desses fungos com o acréscimo de altitude requer mais pesquisas, principalmente em áreas montanhosas do Brasil. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar a diversidade e distribuição da comunidade de FMA em cinco habitats ao longo de um gradiente de altitude na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. As amostras de solo e raízes foram coletadas em uma área montanhosa na Serra das Almas, Chapada Diamantina (BA) em Maio/2014. Foram selecionados cinco tipos de habitats com o acréscimo de altitude entre 1.451 a 1.958 m acima do nível do mar: cerrado de altitude (CEA), campo limpo (CAL), mata de galeria (MAG), campo rupestre em regeneração (CRR) e campo rupestre (CAR). Foi determinado o percentual de colonização micorrízica hifálica, arbuscular, vesicular e total. Os esporos foram quantificados e identificados morfológicamente, para realização de análises ecológicas da comunidade de FMA. Os solos analisados apresentaram pH ácido e a textura dos solos difere entre os habitats. O número de esporos foi maior em CAR, apresentando abundância similar ao encontrado em CEA e MAG. Os percentuais de colonização total, de arbúsculos, vesículas e hifas não diferiram entre os habitats, sendo o de colonização por arbúsculos muito baixo (<1%), enquanto os de hifas foram os principais responsáveis pelo percentual total. Foram identificadas 49 espécies de FMA, sendo *Glomus* e *Acaulospora* os gêneros mais representativos. A riqueza e diversidade de FMA por amostra não diferiu entre os habitats, enquanto diferenças na distribuição de alguns gêneros de FMA foram observadas: *Acaulospora* e *Glomus* tiveram maior abundância na área de maior altitude (CAR), enquanto *Bulbospora* predominou na área de menor altitude (CEA). A comunidade de FMA difere ao longo do gradiente, mostrando que CEA é menos similar com os demais habitats. O conteúdo de silte e areia grossa explicaram a mudança na composição das espécies de FMA, mostrando que a textura do solo é o fator determinante para a comunidade desses fungos na Serra das Almas.

Palavras-chave: Campos rupestres. Bioma Cerrado. Ecologia do solo. Glomeromycota.

ABSTRACT

In mountainous areas, changes in biotic and abiotic factors are directly related to the modification of the altitude gradient and these act modeling biodiversity including the microorganisms in the soil. Among them, the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are important for performing mutualistic association with host plants. The AMF have been studied mountainous in areas globally, in these areas new species are frequently described, but the pattern of distribution of these fungi with the altitude increase requires more research, especially in mountainous areas of Brazil. Thus, the objective of this work was to determine the diversity and distribution of AMF community along an altitude gradient in Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. Samples of soil and roots were taken on May (2014) in a mountainous area in 'Serra das Almas', Chapada Diamantina (BA). Five habitat types were selected following the increasing altitude from 1.451 to 1.958 m above sea level: 'mountainous cerrado - cerrado de altitude' (CEA), 'grass field - campo limpo' (CAL), 'riparian forest - Mata de Galeria (MAG)', 'rupestre field in regeneration - campo rupestre em regeneração' (CRR) and 'rupestre field - campo rupestre' (CAR). The percentage of mycorrhizal colonization by hypha, arbuscules, vesicles and total, the number of spores and AMF species were determined. Os esporos foram quantificados e identificados morfolologicamente, para realização de análises ecológicas da comunidade de FMA. The soils presented acid pH and the soil texture differ between habitats. The number of spores were higher in CAR, and did not differ from CEA and MAG. The percentage of colonization total and by arbuscules, vesicles and hyphae did not differ between habitats, being the arbuscules colonization very low (<1%), while the hyphae were responsible for the majority of colonization. Forty-nine AMF species were identified, with *Glomus* and *Acaulospora* being the most representativeness genera. The AMF richness and diversity per sample did not differ between habitat types (or sites), while differences in some genera distribution of AMF in relation to altitude gradient were observed: the genera *Acaulospora* and *Glomus* presented higher abundance in the highest site (CAR), while *Bulbospora* predominated in the lowest site (CEA). The composition of AMF community differ along the altitudinal gradient, showing that the habitat type with lowest altitude (CEA) present a community very distinct from the others vegetation types. The content of silt and coarse sand explained the changes in the AMF community composition, showing that soil texture is the factor that are shaping the AMF community in the 'Serra das Almas' sites.

Keywords: Rupestre fields. Cerrado Biome. Soil ecology. Glomeromycota.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima (°C) e precipitação mensal (mm) no município de Rio de Contas, (Bahia) durante o ano de 2014. Fonte: Climatempo	21
Figura 2 - Áreas de coleta visualizadas através de imagens de satélite na Serra das Almas, Bahia, Brasil	22
Figura 3 - Áreas de coleta na Serra das Almas, Bahia, Brasil. (A) cerrado de altitude - CEA, (B) campo limpo – CAL, (C) mata de galeria – MAG, (D) campo rupestre em regeneração - CRR, (E) campo rupestre – CAR	23
Figura 4 - Média do número de esporos de FMA em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%	27
Figura 5 - Curva de acumulação de espécies de FMA identificadas em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre)	28
Figura 6 - Riqueza de espécies (a) e índice de Shannon (b) de FMA identificados em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade	31
Figura 7 - Abundância relativa dos gêneros (%) <i>Acaulospora</i> (a), <i>Bulbospora</i> (b) e <i>Glomus</i> (c) em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade	32
Figura 8 - Análise de agrupamento utilizando-se o índice de Sørensen para calcular a similaridade de espécies de FMA em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre)	34
Figura 9 - Análise de escalonamento multidimensional com base na comunidade de FMA correlacionado com atributos do solo em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre)	35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Atributos químicos e granulométricos do solo da Serra das Almas, Bahia. Habitats: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade 26
- Tabela 2 - Colonização radicular total, de arbúsculos, vesículas e hifas (%) em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% 27
- Tabela 3 - Espécies de FMA identificadas em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre) 29
- Tabela 4 - Análise da comparação entre os diferentes habitats pela análise de Permutação multivariada (PERMANOVA) em Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre) 33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 CHAPADA DIAMANTINA	12
2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES	14
2.2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM GRADIENTES DE ALTITUDE	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 COLETA DAS AMOSTRAS	23
3.3 COLONIZAÇÃO RADICULAR	23
3.4 QUANTIFICAÇÃO DOS ESPOROS E IDENTIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DOS FMA	24
3.5 OBTENÇÃO DE ESPOROS EM CULTURA ARMADILHA	24
3.6 ANÁLISES ECOLÓGICAS DA COMUNIDADE DE FMA	24
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
3.8 ANÁLISE DO SOLO	25
4 RESULTADOS	26
4.1 PROPRIEDADES DO SOLO	26
4.2 NÚMERO DE ESPOROS	27
4.3 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA	27
4.4 RIQUEZA DE ESPÉCIES	28
4.5 COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE FMA	33
5 DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente 12% da superfície terrestre é coberta por montanhas (SPEHN et al., 2010). Essas áreas realizam vários serviços ecossistêmicos e econômicos, tais como o fornecimento de água e minérios, terras utilizadas na agricultura e são fontes de biodiversidade, sendo consideradas essenciais para a conservação do planeta (AGENDA 21, 1992). A inclinação do relevo, associada com diferentes tipos de solos e com quantidade variada de água e nutrientes, formam vários micro-habitats que abrigam uma composição de espécies singular e com representantes endêmicos (SPEHN et al., 2010).

Na Região Nordeste do Brasil, os maiores picos encontram-se no estado da Bahia na região da Chapada Diamantina, um conjunto montanhoso que faz parte da Cadeia do Espinhaço (WATANABI; ROQUE; RAPINI, 2008). A vegetação característica da Chapada Diamantina é composta por campos rupestres, que compreendem plantas de porte herbáceo a arbustivo, crescendo sobre afloramentos rochosos e solos quartzíticos a partir de 900 m de altitude (CONCEIÇÃO et al., 2005). Nesta área estão presentes outros tipos vegetacionais que podem misturar-se entre si, formando ecótonos de difícil distinção (ZAPPI et al., 2003). Essas modificações na diversidade podem ser influenciadas pela composição do substrato, condições geográficas e climáticas associadas à altitude (CONCEIÇÃO; PIRANI; MEIRELLES, 2007; KAMINO; OLIVEIRA-FILHO; STEHMANN, 2008).

A Chapada Diamantina é uma área de conservação nacional, porém atividades antropogênicas como o desmatamento, prejudicam a vegetação e o solo (ROCHA et al., 2005), provocando erosão. Estresses bióticos e abióticos podem modificar as condições do solo, prejudicando a manutenção da biodiversidade através de atividades realizadas principalmente por microrganismos, como a decomposição do material orgânico (WALL; MOORE, 1999), ciclagem de nutrientes (BISSETT et al., 2013) e estabilidade do solo (SPEHN et al., 2010).

Os microrganismos presentes no solo, que são capazes de realizar associação com as plantas, podem modificar as relações dos vegetais, influenciando seu desenvolvimento (LUGO et al., 2008). Neste sentido, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos do solo que formam a simbiose mais abundante que existe, pois estão associados à maioria das plantas (FITTER, 2005). Os FMA recebem compostos dos hospedeiros e em troca auxiliam na obtenção de nutrientes, especialmente o fósforo (PASZKOWSKI, 2006). Esses fungos se destacam pelos benefícios nutricionais e não nutricionais realizados (GIANINAZZI et al., 2010), sendo considerados imprescindíveis para a manutenção dos

ecossistemas terrestres. Os FMA são capazes de sobreviver em substratos com condições limitantes, tais como estresse salino (GUO; GUOG, 2014) e hídrico (AUGÉ, 2001), auxiliando a comunidade vegetal associada.

O acréscimo de altitude promove condições ambientais diferentes que podem ocasionar mudanças na diversidade de plantas (ZHAO et al., 2005), animais (BROWN, 2001) e microrganismos como os FMA (LIU et al., 2011). Entretanto, somente a altitude pode não ser capaz de modificar a riqueza da comunidade, como observado na vegetação dos campos rupestres da Serra do Espinhaço (BORGES; CARNEIRO; VIANA, 2011). Padrões de distribuição das espécies podem ser encontrados com a mudança de altitude (EISENLOHR et al., 2013), como observado na maioria dos estudos com FMA realizados mundialmente em gradientes de altitude (LUGO et al., 2008; GAI et al., 2012; LI et al., 2014). No Brasil foram desenvolvidos dois estudos em ambientes montanhosos visando essa análise (BONFIM et al., 2016; COUTINHO et al., 2015), que revelaram alta riqueza de espécies de FMA.

Os estudos de diversidade realizados em diferentes locais do mundo em áreas montanhosas de elevada altitude têm permitido a descrição de novas espécies de FMA, tais como: *Acaulospora nivalis* (OEHL et al., 2012), *Septoglomus altomontanum*, *Acaulospora pustulata* e *A. tortuosa* (PALENZUELA et al., 2013a, b), sendo essas espécies consideradas de ocorrência restrita a ambientes com altitudes superiores a 1.400 m. Considerando a ausência de estudos nos ecossistemas da Chapada Diamantina, especialmente em áreas com altitudes acima de 1.400 m no Brasil, esse estudo visa contribuir com o conhecimento da diversidade de FMA no Pico das Almas, o terceiro maior pico da região Nordeste.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi determinar a diversidade e distribuição da comunidade de FMA ao longo de um gradiente de altitude na Chapada Diamantina, buscando entender a distribuição local das espécies e contribuir para a ampliação do conhecimento desse importante grupo de microrganismos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CHAPADA DIAMANTINA

A Cadeia do Espinhaço é um conjunto montanhoso brasileiro com áreas entre 700 a 2.000 m de altitude, distribuído em cerca de 1.000 km de comprimento, tendo 50-100 km de largura, limitado ao norte pela serra da Jacobina (BA) e ao sul pela serra do Ouro Branco (MG) (KAMINO; OLIVEIRA-FILHO; STEHMANN, 2008), está localizado entre os estados de Minas Gerais e Bahia, sendo neste último denominado Chapada Diamantina (GIULIETTI; FORERO, 1990).

O principal tipo vegetacional da Cadeia do Espinhaço são os campos rupestres, que crescem em áreas de maiores altitudes das serras a partir de 900 m, sobre solos quartzíticos, pobre em nutrientes, incluindo os afloramentos rochosos, nos quais o solo pode reter mais umidade devido a baixa profundidade do substrato que aproxima a rocha ao subsolo (ZAPPI et al., 2003; RAPINI et al., 2008; WATANABI; ROQUE; RAPINI, 2008). Esses afloramentos são constituídos de raízes ligadas densamente, material vegetal e rochoso desintegrados, que formam um substrato bem agregado, facilitando a fixação da planta nesses ambientes hostis (CONCEIÇÃO; GIULIETTI, 2002). A vegetação dos campos rupestres tem diferentes fitofisionomias, que incluem desde formações herbáceas a arbustiva-arbórea com árvores de pequeno porte (VASCONCELOS, 2011).

Estudos em campos rupestres contribuem para a obtenção de novos registros científicos (RAPINI et al., 2008) graças à presença de espécies endêmicas que podem estar restritas a uma única serra (GIULIETTI et al., 1987) ou até mesmo a uma pequena amostra de solo de afloramento rochoso (CONCEIÇÃO; PIRANI; MEIRELLES, 2007). Estudos florísticos mostram a grande biodiversidade dos campos rupestres (PIRANI; MELLO-SILVA; GIULIETTI, 2003; GIULIETTI et al., 1987; ZAPPI et al., 2003; KAMINO; OLIVEIRA-FILHO; STEHMANN, 2008; STANNARD, 1995), que segundo Giulietti et al. (1987), apresenta mais de 30% da vegetação endêmica.

A fisionomia dos campos rupestres é bastante similar entre as áreas da Chapada Diamantina, pois geralmente ocorre predominância das mesmas famílias: Asteraceae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Orchidaceae, Poaceae e Rubiaceae (GIULIETTI et al., 1987; STANNARD, 1995; CONCEIÇÃO; GIULIETTI, 2002; PIRANI; MELLO-SILVA; GIULIETTI, 2003; ZAPPI et al., 2003; CONCEIÇÃO; PIRANI, 2005; CONCEIÇÃO; PIRANI; MEIRELLES, 2007). Isto

sugere que os afloramentos rochosos em altitudes elevadas influenciam o desenvolvimento das plantas de forma similar, levando à manutenção das mesmas espécies vegetais nesses locais (CONCEIÇÃO; PIRANI, 2007). Além disso, certos representantes vegetais possuem caracteres morfológicos adaptativos ao ambiente rochoso e ao estresse hídrico que auxiliam a sobrevivência das plantas (GIULIETTI et al., 1987; RAPINI et al., 2008), como representantes da família Velloziaceae que possuem modificações no tronco para resistência ao fogo (RAPINI et al., 2008).

Na Chapada Diamantina é comum encontrar mosaicos florísticos, formados por diversos tipos de vegetação ocorrendo na área (ROCHA et al., 2005), tais como cerrados e matas de galeria, substituindo os campos rupestres ou misturando-se entre eles (GIULIETTI et al., 1987). A variedade na flora é causada por diversos motivos, tais como a variação microclimática, composição do substrato, mudança de altitude e declividade (GIULIETTI; FORERO, 1990; CONCEIÇÃO; PIRANI; MEIRELLES, 2007). A precipitação da Serra do Espinhaço diminui no sentido sul ao norte, ocorrendo modificações na vegetação de modo a separar o conjunto montanhoso em três partes: o setor Sul, Central e Norte, que são circundados por ecossistemas de floresta tropical, Cerrado e Caatinga, respectivamente (HARLEY, 1995; GONTIJO, 2008).

As áreas mais baixas têm geralmente o clima mais quente e menor precipitação, enquanto nas áreas com maior altitude a umidade aumenta, pois as nuvens vindas do oceano ao encontrar com as serras condensam-se, formando precipitação inclusive na época seca (HARLEY, 1995). A caatinga é a vegetação mais comum do semiárido nordestino, constituindo a vegetação predominantemente distribuída em torno das áreas montanhosas da Chapada Diamantina (QUEIROZ et al., 2005), sendo encontrada até 1.000 m de altitude (ZAPPI et al., 2003). A caatinga tem fisionomia arbórea ou arbustiva, com muitos espinhos e adaptações xeromórficas (PRADO, 2003). O cerrado é um tipo de vegetação composta por fisionomia arbustiva a arbórea, similar aos ecossistemas de savana, e na Chapada Diamantina pode ser encontrado a partir de 1.000 m de altitude (ZAPPI et al., 2003). Esse é o tipo vegetal que ocorre em torno das áreas de altitude da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e por vezes entram em contato com os campos rupestres na subida dos morros (KAMINO; OLIVEIRA-FILHO; STEHMANN, 2008).

A Chapada Diamantina foi formada no período pré-cambriano (Proterozóico) pelo modelamento das rochas sedimentares através do processo tectônico e intemperismo pela água e o vento, originando diversas feições geomorfológicas (GIUDICE; SOUZA, 2009), incluindo os picos mais altos da região Nordeste: Pico do Barbado (2.033 m), Pico do Itobira

(1.970 m) e Pico das Almas (1.958 m), localizados na parte oeste da Chapada. Os solos da Serra do Espinhaço são formados essencialmente por quartzito, têm poucos nutrientes (BENITES et al., 2007), são ácidos e arenosos (CONCEIÇÃO; GIULIETTI, 2002). A profundidade e as características dos solos são tão variáveis que influenciam a distribuição vegetal na Chapada Diamantina: a família Poaceae foi encontrada com maior predominância em áreas de solos arenosos e com poucos nutrientes, enquanto a família Velloziaceae foi a maior representante dos afloramentos rochosos, onde os solos eram menos profundos e com maior quantidade de matéria orgânica (RAPINI et al., 2008). De acordo com Conceição e Giulietti (2002), a diversidade de substratos formados são possíveis indicadores da diversidade vegetal dos campos rupestres.

A Chapada Diamantina possui alto valor biológico graças à vasta biodiversidade e espécies endêmicas dos campos rupestres (WATANABI; ROQUE; RAPINI, 2008); tem potencial turístico, devido às belas paisagens formadas geologicamente que originaram cachoeiras e montanhas (GIUDICE; SOUZA, 2010); é importante ecologicamente, pois é um manancial hídrico (HARLEY, 1995); e economicamente por fornecer áreas utilizadas na agricultura (SPEHN et al., 2010). Entretanto, a Chapada Diamantina sofre um longo processo de degradação através de mineração, queimadas, agricultura (ROCHA et al., 2005), remoção de madeira e de plantas medicinais e ornamentais (GIULIETTI et al., 1987). Grande parte da Chapada Diamantina encontra-se em área de proteção criada em 1985 e denominada: Parque Nacional da Chapada Diamantina (PARNA). No entanto e como mencionado, a PARNA não engloba toda extensão da Chapada e alguns locais, como a Serra das Almas que é a área de estudo desse trabalho, não tem proteção ambiental.

2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Microrganismos como bactérias e fungos podem estar presentes no solo formando vários tipos de relações ecológicas. Dentre os representantes do Reino Fungi presentes no solo, as micorrizas se destacam pela simbiose formada com os vegetais. As micorrizas arbusculares, orquidóide e ericóide colonizam o interior das células radiculares das plantas, portanto, são chamadas endomicorrizas, enquanto a ectomicorriza distribui-se entre as células da raiz (BONFANTE; GENRE, 2000). As plantas formam associação com ao menos um desses tipos de micorrizas, que auxiliam com a captação de nutrientes do solo para o vegetal, contribuindo com a ciclagem nos ecossistemas (VAN DER HEIJDEN et al., 2015).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são simbioses obrigatórios de vários tipos de plantas, incluindo Angiospermas, Gimnospermas e representantes de Pteridófitas e Briófitas (SMITH; READ, 2008), chegando a colonizar 90% da flora conhecida. Evidências fósseis mostram que os FMA são anteriores à formação das plantas vasculares (WILKINSON, 2001), e provavelmente os ancestrais dos vegetais conhecidos atualmente formavam a simbiose micorrízica (CAIRNEY, 2000). Os FMA melhoram a captação de nutrientes minerais, principalmente o fósforo, mediam as respostas das plantas aos estresses ambientais (FINLAY, 2004), aumentam a absorção de água (AUGÉ, 2001), reduzem a perda de agregados do solo (VAN DER HEIJDEN et al., 2006) a partir da produção da glomalina (RAMOS; MARTIM, 2010) e aumentam a tolerância à seca e doenças (SMITH; READ, 2008).

Os FMA são cosmopolitas e estão distribuídos em todos continentes e zonas climáticas da Terra (DAVISON et al., 2015). Atualmente, esses fungos estão classificados no filo Glomeromycota, com aproximadamente 290 espécies descritas, distribuídas em 3 classes, 5 ordens, 15 famílias e 38 gêneros (<http://glomeromycota.wix.com/lbmicorrizas#!sistema-de-classificacao/c1cmb>), e a classificação do grupo é baseada, principalmente, em estudos morfológicos e ontogenéticos dos esporos denominados de glomerosporos por Goto e Maia (2006) e, recentemente, em análises moleculares (de SOUZA et al., 2010; OEHL et al., 2011). Os FMA são organismos biotróficos obrigatórios que precisam de uma planta hospedeira para seu crescimento, não sendo possível cultivá-los isoladamente em meio de cultura (BONFANTE; GENRE, 2000), exceto a partir das culturas monospóricas estabelecidas em propagação in vitro em sistema monoxênico com raízes transformadas (DECLERCK et al., 2001).

Quando os nutrientes no solo se tornam escassos, as hifas se expandem extraradicularmente ampliando a busca por recursos no solo, atingindo áreas maiores que a zona de absorção das raízes (ALLEN et al., 2003), além disso, as hifas são finas e por isso conseguem acessar microlocais que não são disponíveis para as raízes (FINLAY, 2004). Para a efetividade da simbiose ocorrem vários processos, iniciando pela fase pré-simbiótica que é caracterizada pela germinação do esporo e crescimento micelial inicial. Em seguida o fungo, ao encontrar o hospedeiro, penetra no córtex radicular e estende-se intercelularmente formando hifas e vesículas; e intracelularmente formando os arbúsculos, estrutura que caracteriza a simbiose e é responsável pela troca de nutrientes entre os simbioses (PASZKOWSKI, 2006). Os arbúsculos tem duração muito curta e por isto dificilmente são encontrados em raízes de plantas que estão inativas ou velhas (BRUNDRETT, 1991). As

vesículas são consideradas estruturas de armazenamento de lipídeos (BRUNDRETT, 1991) formadas intra e intercelularmente, e juntamente com os arbúsculos são características de presença de FMA (SMITH; READ, 2008).

Após a efetividade da colonização radicular, o micélio cresce intra e extraradicularmente e forma novos esporos (SMITH; READ, 2008). Esporos, hifas e raízes colonizadas constituem os propágulos de FMA, estruturas capazes de iniciar outra vez associação com novos hospedeiros (VARELA-CERVERO et al., 2015). Os FMA colonizam a comunidade vegetal, formando uma rede micelial no solo que torna-se capaz de estabelecer simbiose com plantas de várias espécies em diferentes estágios de vida (SMITH; READ, 2008). Portanto, é conhecido que uma planta pode se associar a várias espécies de fungos ao mesmo tempo, e ainda, o fungo pode colonizar diversas plantas formando muitas combinações entre si (ALLEN et al., 2003; SANDERS, 2003). O maior número de espécies de plantas pode aumentar a quantidade de associações possíveis, favorecendo uma maior esporulação e diversidade de FMA (BURROWS; PFLEGER, 2002), dessa forma, é possível que mudanças na composição vegetal afetem a comunidade de fungos e vice-versa (SANDERS, 2004).

Os tipos de propágulos variam de acordo com a composição da comunidade de FMA (VARELA-CERVERO et al., 2015), por exemplo, a família Glomeraceae produz mais propágulos na raiz, enquanto a família Gigasporaceae (atualmente ordem Gigasporales) tem maior biomassa fúngica no solo (ALLEN et al., 2003), além disso, Gigasporales não formam vesículas nas raízes, mas formam células auxiliares extraradicularmente (ANTONINKA; RITCHIE; JOHNSON, 2015). Varela-Cervero et al. (2015) observaram através de análises moleculares de propágulos infectivos que geralmente o gênero *Glomus* era mais abundante nas raízes, enquanto *Pacispora* e *Paraglomus* predominaram na forma de esporos, e *Scutellospora* foi mais comum sob forma de micélio extraradicular.

Considerando que determinadas condições podem ser limitantes para esses fungos, estudos ecológicos vêm investigando quais possíveis fatores estão mais correlacionados, influenciando a estrutura da comunidade de FMA (BÖRSTLER et al., 2006). Esses fatores incluem propriedades bióticas e abióticas do solo (BRUNDRETT; AUSHAT, 2013; KIVLIN; HAWKES; TRESEDER, 2011; MAIA; SILVE; GOTO, 2010), sazonalidade (GUADARRAMA et al., 2014), diversidade vegetal (EMERY et al., 2015) e diferentes formas de uso da terra (BAINARD et al., 2015). Além disso, mudanças climáticas, tais como o aumento de CO₂ podem afetar a comunidade de FMA no ambiente (COTTON et al., 2015). Dessa forma, os FMA podem ser influenciados direta ou indiretamente pela modificação da

vegetação que responde às mudanças no solo ou clima (HART; READER; KLIRONOMOS, 2001).

2.2.1 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM GRADIENTES DE ALTITUDE

A altitude é um dos fatores que podem atuar na diversidade de plantas e microrganismos (LI et al., 2014) por modificar condições climáticas, tais como temperatura, pressão atmosférica do ar e radiação solar; e geográficas, como por exemplo, o tamanho da área de terra (KÖRNER et al., 2007). Portanto, as variações de altitude permitem analisar quais características favorecem o estabelecimento das espécies no gradiente elevacional (HARLEY, 1995), pois essas mudanças ocorrem em ambientes distintos que são próximos entre si (FISCHER; BLASCHKE; BÄSSLER, 2011).

Estudos florísticos em montanhas demonstram que a distribuição dos táxons vegetais muda ao longo do gradiente de altitude. Pompeu et al. (2011) analisaram plantas ao longo de um gradiente de altitude em florestas na Serra da Mantiqueira (MG) e observaram que com o acréscimo de altitude a diversidade diminui, enquanto a curva da riqueza aumenta até a altitude intermediária, e em seguida, diminui. Fisher e Fulé (2004) não observaram diferenças significativas na diversidade de espécies vegetais, estudando um gradiente de altitude no Pico de São Francisco, no Arizona (EUA), mas a riqueza foi diferente entre os tipos de vegetação, sendo menor nas altitudes intermediárias.

Como os FMA são simbioses que ajudam os vegetais na obtenção de nutrientes, essa associação pode ser mais importante quando as plantas estão em condições extremas e necessitam sobreviver em situações ambientais difíceis (LI et al., 2014), tais como quando se desenvolvem em afloramentos rochosos montanhosos. Com o aumento gradual de altitude vários fatores bióticos e abióticos são modificados, sendo capazes de influenciar a comunidade de FMA, por isso estudos em áreas montanhosas permitem avaliar preferências ecológicas na distribuição dos fungos no gradiente de altitude (ANTONINKA; RITCHIE; JOHNSON, 2015). Os principais fatores atuando nessas mudanças são a planta hospedeira, variáveis do solo e elevação (LI et al., 2014).

Os estudos sobre os FMA realizados em áreas de altitude contemplam diversos ecossistemas, tais como: florestas (FISHER; FULÉ, 2004; BONFIM et al., 2016), tundra (SCHMIDT et al., 2008), campos rupestres (COUTINHO et al., 2015), pastagem de puna (LUGO et al., 2008), campos alpinos (READ; HASELWANDTER, 1981), pradaria (LI et al., 2014), além de áreas cultivadas (BEENHOUWER et al., 2015) nos continentes da América,

Europa, Ásia e África. Nesses trabalhos foram recuperadas 108 espécies de FMA (identificadas até nível específico) através de análises morfológicas e moleculares, das quais *Acaulospora spinosa* esteve presente em cinco estudos com identificação das espécies, e os gêneros com maior ocorrência foram *Glomus* e *Acaulospora*.

A composição da comunidade de FMA pode não ter diferenças ao longo do gradiente de altitude (BEENHOUWER et al., 2015). Porém, a maioria dos estudos encontraram variações em vários aspectos ecológicos desses fungos, sendo importante compreender como a altitude afeta as condições ambientais que influenciam a riqueza, composição e diversidade das comunidades de FMA.

Shi et al. (2014) determinaram o número de esporos, riqueza e diversidade de espécies e colonização micorrízica em montanhas do Monte Taibai na China, e de acordo com esses autores, os padrões de distribuição dessas análises foram diferentes ao longo do gradiente (1.050 a 3.750 m de altitude). Os autores também sugerem que fatores ambientais, mudança na altitude e espécies vegetais foram os principais fatores que influenciaram a comunidade de FMA. Liu et al. (2015) analisaram a encosta ocidental e oriental de uma montanha na China com vegetação herbácea alpina em um gradiente altitudinal variando de 4.150 a 5.033 m e verificaram que a diversidade e riqueza de espécies de FMA mostraram tendências diferentes com o aumento de altitude, nos dois lados da montanha, sendo essas diferenças causadas por mudanças na comunidades de plantas, propriedades do solo e condições climáticas.

Na montanha Segrila na região do Tibete (China), a riqueza, o número de esporos e percentual de colonização diminuem com a altitude, porém a diversidade não diferiu estatisticamente (GAI et al., 2012). Não é fácil correlacionar quais condições estão influenciando a distribuição dos fungos no gradiente, visto que vários fatores podem estar envolvidos, e podem não estar correlacionados com a comunidade de FMA. Lugo et al. (2008) analisaram a comunidade de FMA em gramíneas com via metabólica C3 e C4. Os táxons vegetais sofreram variação com a altitude: as plantas do tipo C3 predominaram nas áreas mais elevadas, enquanto as plantas C4 tiveram maior ocorrência em menores altitudes. Porém, não houve diferença significativa na riqueza e abundância dos FMA entre as gramíneas estudadas. Em relação à mudança de altitude de 3.320 a 3.870 m, o número de esporos e a riqueza de FMA foram correlacionados negativamente com o acréscimo da elevação.

Read e Haselwandter (1981) observaram em montanhas dos alpes na Áustria que a colonização por FMA foi maior nas altitudes intermediárias e menores na menor e maior altitude (1.600 m e 3.000 m). Os autores sugerem que o estresse nutricional pode não ser o

principal fator para o desenvolvimento das plantas, e que a baixa colonização na maior altitude pode ter ocorrido por falta de contato do fungo com a raiz, que cresce por um período de tempo curto quando a cobertura de neve diminui. Fisher e Fulé (2004) realizaram bioensaio de infectividade de FMA e verificaram que o percentual de colonização fúngica foi correlacionado positivamente com riqueza de espécies vegetais, visto que maiores números de colonização ocorreram nas áreas com maior número de espécies de plantas, que consistiam nas menores e maiores elevações, 2.595 e 3.308 m, respectivamente.

Nas raízes podem ser encontrados mais que um tipo de fungo, já que micorrizas e fungos endofíticos podem colonizar raízes vegetais. Desta forma ambos tipos ou apenas um deles pode estar presente na zona radicular, porém, isto pode variar de acordo com a altitude (HASELWANDTER; READ, 1980). Na área de maior altitude montanhosa na Áustria, na qual o ambiente tinha condições mais extremas e ocorria vegetação aberta, a colonização micorrízica era rara, enquanto a presença de fungo endofítico (*Rhizoctonia* sp.) foi mais abundante nas raízes (HASELWANDTER; READ, 1980). Isso provavelmente ocorreu por causa do tipo de reprodução dos fungos, pois havia poucos esporos de FMA nas áreas de altitudes alpinas, enquanto existiam várias estruturas de reprodução de *Rhizoctonia* sp. nas raízes que poderiam representar os principais inóculos para os hospedeiros vegetais.

Schmidt et al. (2008) analisaram colonização de raízes por FMA e fungos endofíticos em dois locais. Nos Andes (Peru) houve duas espécies de plantas da família Compositae na área de maior altitude (5.391 m) que não foram colonizadas por FMA, mas continham endofíticos, entretanto, nas altitudes mais baixas o padrão inverso ocorria; e no Colorado (EUA) o percentual de colonização micorrízica total diminuiu significativamente com o acréscimo de altitude, que chegou a 4.298 m. De acordo com o estudo, os resultados sugerem que os FMA não estão bem adaptados a altas altitudes ou mesmo que as mudanças morfológicas em plantas e fungos causadas pela elevação contribuem para essa redução de colonização.

Estudos com FMA em ambientes montanhosos concentram-se nas áreas temperadas, nas quais frequentemente são encontrados novos táxons (OEHL et al., 2006; PALENZUELA et al., 2014). Análises de gradiente de altitude no Brasil foram realizadas na Serra do Cipó, que faz parte da Cadeia do Espinhaço no estado de Minas Gerais (COUTINHO et al., 2015), e na Serra do Mar no estado de São Paulo (BONFIM et al., 2016). Esses dados mostraram que essas áreas abrigam uma grande biodiversidade de FMA. Dessa forma, é provável que os ambientes de altitude dos trópicos possuam maior diversidade de FMA, pois esses ecossistemas possuem mais variações climáticas do que os gradientes elevacionais de clima

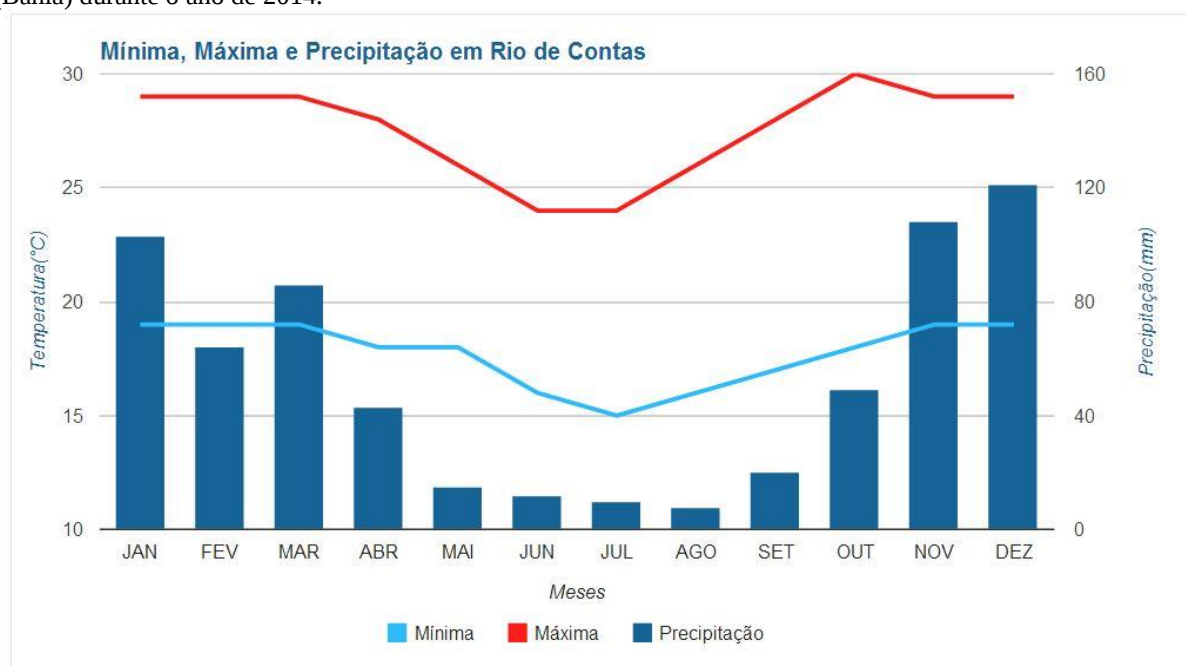
temperado (RAHBEK 1995). Os ecossistemas montanhosos do Brasil podem ser fontes de novas espécies de fungos, visto que *Cetraspora auronigra* Oehl, L.L. Lima, Kozovitz, Magna, G.A. Silva, foi descrita recentemente em uma floresta tropical montanhosa em áreas de campo rupestre no estado de Minas Gerais (LIMA et al., 2014a). Além disso, áreas de altitude são pouco estudadas no país e merecem maior atenção pela constante degradação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na Serra das Almas, no município de Rio de Contas, a cerca de 360 km de Salvador, no estado da Bahia. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Cwb – caracterizado como temperado úmido, com verão chuvoso e inverno seco, apresentando médias anuais inferiores a 22 °C e temperaturas baixas durante o inverno. No mês de coleta (maio/2014), a média da temperatura mínima foi 16,88 °C, a temperatura máxima foi 26,48 °C e a precipitação acumulada mensal foi 29,4 mm (www.climatempo.com.br) (Figura 1).

Figura 1 - Temperatura mínima, máxima (°C) e precipitação mensal (mm) no município de Rio de Contas, (Bahia) durante o ano de 2014.

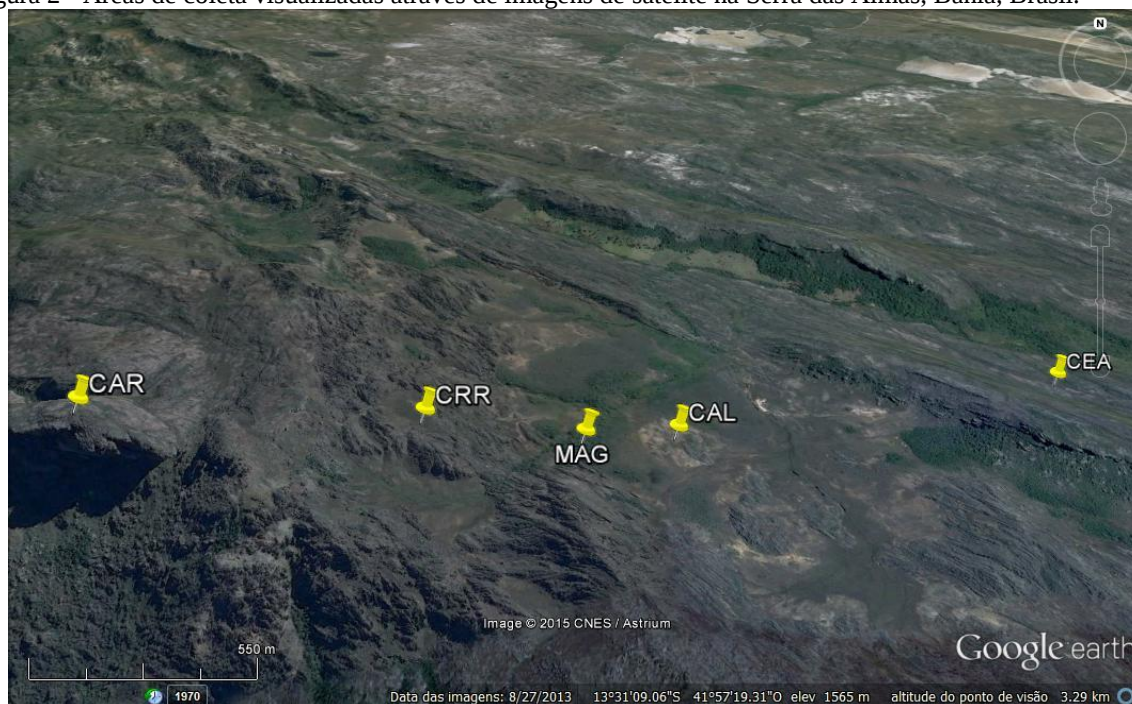


Fonte: Climatempo, 2014.

No município de Rio de Contas predomina a vegetação de campo rupestre e cerrado, mas também podem ser encontrados ecossistema de Caatinga, além de áreas agrícolas (ROCHA et al., 2005). A florística do Pico das Almas encontra-se descrita em Stannard (1995), com predominância de representantes das famílias Compositae, Melastomataceae, Orchidaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, Fabaceae, Poaceae, Lamiaceae, Xyridaceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae e Eriocaulaceae, que constituem 54% da flora da área.

As coletas foram realizadas em cinco pontos ao longo da Serra das Almas, seguindo o gradiente altitudinal que resultou no intervalo de 500 m de altitude da base até o cume e cerca de 3 km de distância (Figura 2).

Figura 2 - Áreas de coleta visualizadas através de imagens de satélite na Serra das Almas, Bahia, Brasil.

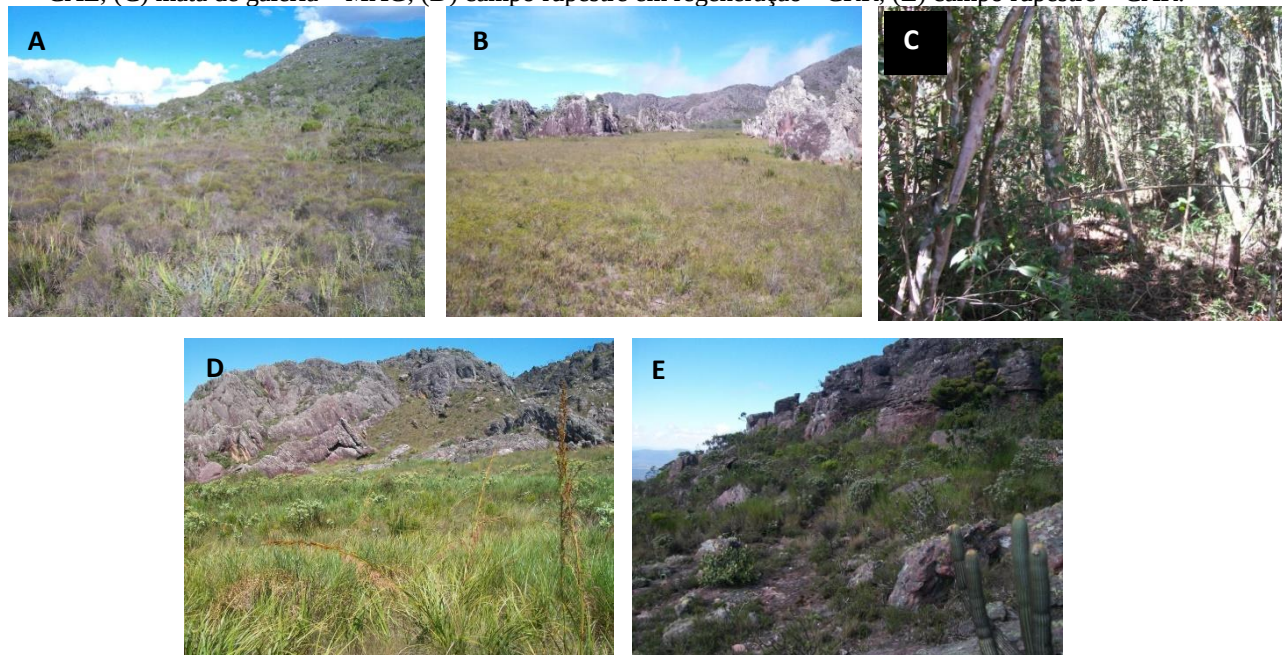


Fonte: Google Earth, 2015.

No presente estudo foi possível observar cinco fisionomias vegetacionais: o primeiro habitat, situado a 1.451 m de altitude ($13^{\circ}31'10.58''S$, $41^{\circ}56'23.98''O$), foi denominado de cerrado de altitude (CEA). De acordo com Harley (1995), na região do Pico das Almas há locais entre 1.000 e 1.500 m de altitude, no qual ocorrem cerrados de altitude. Nessas áreas são identificados elementos vegetais de cerrado e campo rupestre, sendo considerado como uma zona de transição entre os dois tipos florísticos (RODELA, 1998). O segundo habitat tem 1.547 m de altitude ($13^{\circ}31'25.27''S$, $41^{\circ}57'9.52''O$) e localiza-se no “Vale do Queiroz”, o qual possui predominantemente vegetação herbácea e solo úmido, foi denominado campo limpo (CAL). O bosque esparso encontrado no Campo do Queiroz é formado por árvores delgadas e esgalhadas (HARLEY, 1995). O terceiro local de coleta constitui a mata de galeria (MAG) a 1.564 m de altitude ($13^{\circ}31'26.13''S$, $41^{\circ}57'18.96''O$). As matas de galerias são caracterizadas por representantes de Floresta perenifólia ou semi-caducifólia ao longo de rios e riachos (ZAPPI et al., 2003; HARLEY, 1995). O quarto habitat localiza-se a 1.657 m ($13^{\circ}31'27.31''S$, $41^{\circ}57'34.72''O$), com fisionomia de campo rupestre, porém havia sofrido queimada em 2010, sendo encontrados muitos espécimes de capim-elefante, a área foi denominada campo

rupestre em regeneração (CRR). O último habitat localiza-se no ponto culminante da serra, o Pico das Almas a 1.958 m de altitude (13°31'36.63"S, 41°58'2.59"O), com vegetação característica de campos rupestres (CAR) (Figura 3).

Figura 3 - Áreas de coleta na Serra das Almas, Bahia, Brasil. (A) cerrado de altitude - CEA, (B) campo limpo - CAL, (C) mata de galeria - MAG, (D) campo rupestre em regeneração - CRR, (E) campo rupestre - CAR.



Fonte: A autora, 2016

3.2 COLETA DAS AMOSTRAS

A coleta foi realizada no mês de maio de 2014, início do período seco. Na Serra das Almas foram selecionadas, ao longo do gradiente de altitude, cinco habitats diferentes. Em cada nível foi delimitada uma área de 1.600 m² contendo seis parcelas de 100 m² que distanciavam 10 m entre si. Em cada parcela foi coletada uma amostra (composta de 10 subamostras), totalizando 30 amostras compostas na área de estudo. Cada amostra composta tinha cerca de 5 kg de solo e raízes.

3.3 COLONIZAÇÃO RADICULAR

As raízes foram separadas manualmente do solo e lavadas com água destilada, diafanizadas com KOH 10% e coradas com azul de Trypan (0,05%) (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). Para determinação do percentual de colonização radicular, as raízes foram avaliadas de

acordo com o método de McGonigle et al. (1990), que avalia a presença de hifas, vesículas e arbúsculos.

3.4 QUANTIFICAÇÃO DOS ESPOROS E IDENTIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DOS FMA

Os esporos foram extraídos a partir de 50 g de solo através do método de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e centrifugação em água e sacarose (JENKINS, 1964) e em seguida, foram quantificados em placa canaletada com auxílio de estereomicroscópio (40x). Os esporos foram montados em lâminas com PVLG (álcool-polivinílico em lactoglicerol) e com PVLG + reagente de Melzer (1:1), em seguida foram identificados morfolologicamente no microscópio com auxílio de literatura recente (SCHENCK; PEREZ, 1990; BLASZKOWSKI, 2012).

3.5 OBTENÇÃO DE ESPOROS EM CULTURAS ARMADILHA

Para montagem das culturas armadilha, foram feitas amostras compostas (dois a dois) dos pontos amostrados (500 g de cada amostra foram retiradas para montagem dos vasos). O solo foi misturado, colocado em potes plásticos, nos quais foi semeado sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), milho (*Zea mays* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.). As plantas foram mantidas durante dois ciclos de quatro meses em casa de vegetação, sob regas constantes. Após cada ciclo, foi retirada uma alíquota de solo para extração de esporos e montagem de lâminas para identificação das espécies de FMA.

3.6 ANÁLISES ECOLÓGICAS DA COMUNIDADE DE FMA

Para análise da comunidade de FMA, a riqueza e o índice de Shannon foram calculados para cada amostra. A riqueza é o número de espécies em cada amostra. O índice de diversidade de espécies de Shannon foi calculado de acordo com a equação $H' = -\sum (X_i/X_o) \times \log(X_i/X_o)$, onde X_i é o número de esporos de cada espécie; X_o é o número total de esporos de todas as espécies, para fins estatísticos foram utilizados os valores de $\exp(H')$. Para determinar a similaridade entre as áreas, foi realizado o índice de similaridade de Sørensen (BROWER; ZAR, 1984).

A análise de espécie indicadora (DUFRENE; LEGENDRE, 1997) foi realizada objetivando identificar espécies indicadoras de cada local de coleta, o valor de indicação

(IndVal) foi calculado para cada espécie e a significância dos valores foi calculada pelo teste de Monte Carlo, as espécies foram consideradas indicadoras quando apresentaram $p < 0,05$ e IndVal maior ou igual a 25%.

Os dados de abundância relativa de cada espécie da comunidade de FMA (baseados na identificação morfológica) foram analisados empregando-se a técnica NMS (*non-metric multidimensional scaling*) de ordenação multivariada e utilizando-se o índice de Sørensen, com o objetivo de verificar o efeito das diferentes fisionomias vegetacionais sobre a estrutura e composição da comunidade de FMA. As propriedades físicas e químicas do solo foram utilizadas para verificar a correlação desses fatores com os eixos da ordenação. A análise de Permutação multivariada (PERMANOVA) foi realizada para comparar a composição da comunidade entre os locais estudados, as áreas foram comparadas duas a duas.

As análises espécie indicadora, NMS e a construção dos gráficos box plot foram realizadas utilizando o programa PC-ORD versão 5.0. A análise de agrupamento e a curva de acumulação de espécies foram realizadas com auxílio do programa Primer 6.0 (CLARKE; GORLEY, 2006). Os valores calculados nas curvas de acumulação de espécies foram utilizados para a construção do gráfico no programa Excel[®].

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de colonização foram transformados em arco seno, os de números de esporos transformados em $\log(x+1)$ e os do índice de Shannon foram transformados em $\text{Exp}(H')$. Os dados de colonização micorrízica, número de esporos, índice de Shannon, riqueza e os atributos do solo foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando o programa Assistat.

3.8 ANÁLISE DO SOLO

A caracterização química e física das 30 amostras de solo do local de coleta foi realizada na Estação Experimental de Cana de Açúcar de Carpina da Universidade Federal Rural de Pernambuco (Tabela 1).

4 RESULTADOS

4.1 PROPRIEDADES DO SOLO

Os solos amostrados tem pH ácido e no geral diferem significativamente entre si (Tabela 1). O teor de fósforo variou de 3 a 19, sendo estatisticamente maior em CEA e CAR. O habitat com menor teor de ferro foi CEA, que teve maior concentração de manganês e cobre. O solo de MAG possui maior quantidade de ferro, potássio, alumínio e CTC, e o de CAR maior teor de cálcio. A quantidade de matéria orgânica é significativamente maior em CAR e MAG. No CEA encontra-se o maior teor de areia grossa e areia fina e o menor teor de silte, em oposição à MAG. Os solos de CAL e CRR possuem maior quantidade de argila, enquanto CAR tem o menor teor desse atributo.

Tabela 1 - Atributos químicos e granulométricos do solo da Serra das Almas, Bahia. Habitats: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

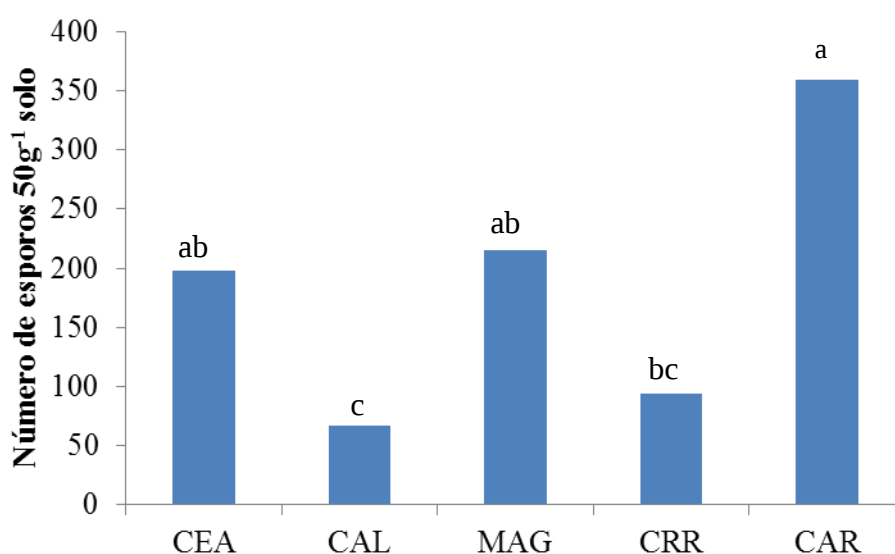
		CEA	CAL	MAG	CRR	CAR
Análise química						
mg/dm ³	Fe	16,35 c	124,47 bc	336,57 a	210,63 ab	217,67 ab
	Cu	1,27 a	0,15 b	0,42 b	0,05 b	0,12 b
	Zn	25,95 a	8,73 a	8,75 a	18,93 a	13,65 a
	Mn	25,08 a	0,48 b	0,21 b	3,00 b	0,65 b
	P	6 c	3 c	13 b	4 c	19 a
cmolc/dm ³	pH	4,2 b	5,0 a	4,1 b	4,8 a	3,6 c
	K	0,05 c	0,05 c	0,28 a	0,08 c	0,19 b
	Na	0,03 b	0,04 b	0,09 a	0,06 ab	0,09 a
	Al	1,8 b	0,8 c	6,1 a	1,9 b	2,0 b
	Ca	0,33 b	0,30 b	0,44 b	0,30 b	1,05 a
	Mg	0,27 a	0,28 a	0,29 a	0,28 a	0,38 a
	CTC	7,07 c	4,77 c	25,82 a	7,20 c	14,27 b
%	MO	1,60 b	1,51 b	11,30 a	2,80 b	8,31 a
Análise granulométrica						
%	AG	46,91 a	26,30 bc	14,71 c	37,33 ab	40,92 ab
	AF	22,44 a	9,65 bc	5,75 c	16,92 ab	16,32 ab
	Silte	25,2 c	54,6 ab	70,9 a	35,9 bc	37,9 bc
	Argila	5,4 bc	9,5 a	8,6 ab	9,9 a	4,8 c

Fonte: A autora, 2016

4.2 NÚMERO DE ESPOROS

Maior número de esporos foi observado em CAR, a qual foi estatisticamente similar em abundância de esporos a CEA e MAG. Em CAL ocorreu menor número de esporos, sendo similar apenas com CRR (Figura 4). Nossos resultados diferem do padrão esperado em áreas de altitude e não apresentou nenhum padrão de distribuição dos esporos com o acréscimo de altitude.

Figura 4 - Média do número de esporos de FMA em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas pela mesma letra nas barras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: A autora, 2016

4.3 COLONIZAÇÃO MICORRÍZICA

Não foi observada diferença significativa no percentual de colonização por arbúsculos, vesículas, hifas e colonização total de FMA entre os habitats (Tabela 2).

Tabela 2 - Colonização radicular total, de arbúsculos, vesículas e hifas (%) em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

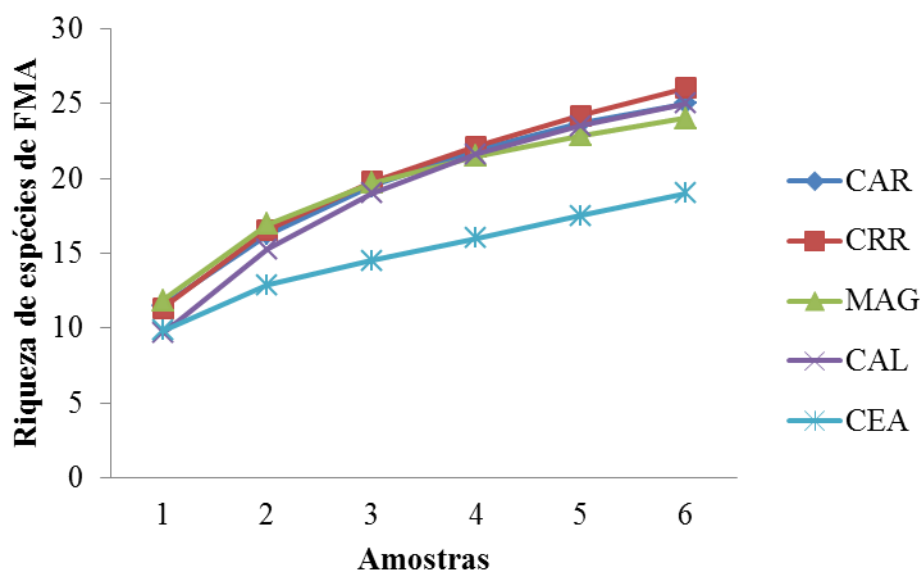
Habitats	(%)			
	Total	Arbúsculo	Vesícula	Hifa
CEA	23,98a	0,00a	1,95a	22,02a
CAL	29,07a	0,19a	4,79a	24,08a
MAG	32,32a	0,06a	5,77a	26,48a
CRR	29,17a	0,13a	4,25a	24,79a
CAR	29,24a	0,29a	7,02a	21,93a

Fonte: A autora, 2016

4.4 RIQUEZA DE ESPÉCIES

Foram quantificados 5.603 esporos nos cinco habitats da Serra das Almas que representaram 49 espécies de FMA. As espécies identificadas pertencem a cinco ordens, 11 famílias e 20 gêneros (Tabela 3). Dessas espécies, 14 não foram identificadas a nível específico, devido à falta de características distintivas e/ou por se tratarem de novas espécies (*Scutellospora* sp. 1 e *Scutellospora* sp. 2). Os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* são os mais representativos em número de espécies na área de estudo, com nove e oito espécies, respectivamente, seguido por *Scutellospora* (6). A riqueza variou entre 19 a 26 espécies de FMA, e foi menor no habitat CEA em relação aos demais, e nenhum habitat atingiu o ponto de estabilização da curva (Figura 5).

Figura 5 - Curva de acumulação de espécies de FMA identificadas em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre).



Fonte: A autora, 2016

As espécies *Acaulospora mellea*, *Claroideoglomus etunicatum*, *Glomus brohultii*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum*, *G. microcarpum*, *Glomus* sp. 4, *Gigaspora margarita*, *Bulbospora minima*, *Orbispora pernambucana* e *Scutellospora calospora* foram registradas em todas os habitats, enquanto 20 táxons tiveram a distribuição limitada a apenas um habitat (Tabela 3).

Tabela 3 - Espécies de FMA identificadas com seus respectivos valores de indicação (VI) e grupo de indicação em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Valores de indicação (VI) e grupo de indicação das espécies.

Espécies	CEA	CAL	MAG	CRR	CAR	Grupo	Valor de indicação (VI)	P*
Acaulosporaceae								
<i>Acaulospora</i> aff. <i>alpina</i>	X		X		X	CAR	42.0	0.0646
<i>Acaulospora foveata</i> Trappe & Janos	X					CEA	16.7	1.0000
<i>Acaulospora laevis</i> Gerd. & Trappe				X		CRR	16.7	1.0000
<i>Acaulospora longula</i> Spain & N.C. Schenck				X	X	CRR	63.3	0.0036
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & N.C. Schenck	X	X	X	X	X	CAR	28.2	0.4127
<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck				X	X	CRR	32.4	0.1750
<i>Acaulospora</i> sp. 1			X			MAG	16.7	1.0000
<i>Acaulospora</i> sp. 2			X		X	MAG	62.1	0.0061
<i>Kuklospora colombiana</i> (Spain & N.C. Schenck) Oehl & Sieverd.		X				CAL	16.7	1.0000
<i>Kuklospora</i> sp.		X				CAL	16.7	1.0000
Ambisporaceae								
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker	X	X		X		CAL	27.7	0.1571
Dentiscutataceae								
<i>Dentiscutata cerradensis</i> (Spain & J. Miranda) Sieverd., F.A. Souza & Oehl			X			MAG	16.7	1.0000
Diversisporaceae								
<i>Diversispora eburnea</i> (L.J. Kenn., J.C. Stutz & J.B. Morton) C. Walker & A. Schüßler				X		CRR	16.7	1.0000
<i>Tricispora nevadensis</i> (Palenzuela, Ferrol, Azcón-Aguilar & Oehl) Oehl, Palenzuela, G.A. Silva & Sieverd.		X				CAL	16.7	1.0000
Entrophosporaceae								
<i>Claroideoglossum etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler	X	X	X	X	X	CAL	18.2	0.7438
<i>Entrophospora</i> aff. <i>infrequens</i>					X	CAR	33.3	0.1741
Glomeraceae								
<i>Dominikia bernensis</i> Oehl, Palenz., Sánchez-Castro, N.M.F.Sousa & G.A.Silva					X	CAR	16.7	1.0000
<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler					X	CAR	16.7	1.0000
<i>Glomus brohultii</i> R.A. Herrera, Ferrer & Sieverd.	X	X	X	X	X	CEA	31.9	0.0041
<i>Glomus glomerulatum</i> Sieverd.	X	X	X	X	X	CEA	21.9	0.8414
<i>Glomus macrocarpum</i> Tul. & C. Tul.	X	X	X	X	X	CAL	25.2	0.6122
<i>Glomus microcarpum</i> Tul. & C. Tul.	X	X	X	X	X	CAR	26.8	0.5850
<i>Glomus</i> sp. 1	X	X	X		X	CAR	33.8	0.1730
<i>Glomus</i> sp. 2	X	X			X	CAL	13.2	1.0000
<i>Glomus</i> sp. 3		X	X	X	X	CRR	47.6	0.1409
<i>Glomus</i> sp. 4	X	X	X	X	X	CRR	44.2	0.2262
<i>Glomus</i> sp. 5			X			MAG	16.7	1.0000
<i>Rhizoglossum clarum</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	X			X		CRR	12.8	1.0000

Continuação da Tabela 3 - Espécies de FMA identificadas com seus respectivos valores de indicação (VI) e grupo de indicação em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Valores de indicação (VI) e grupo de indicação das espécies.

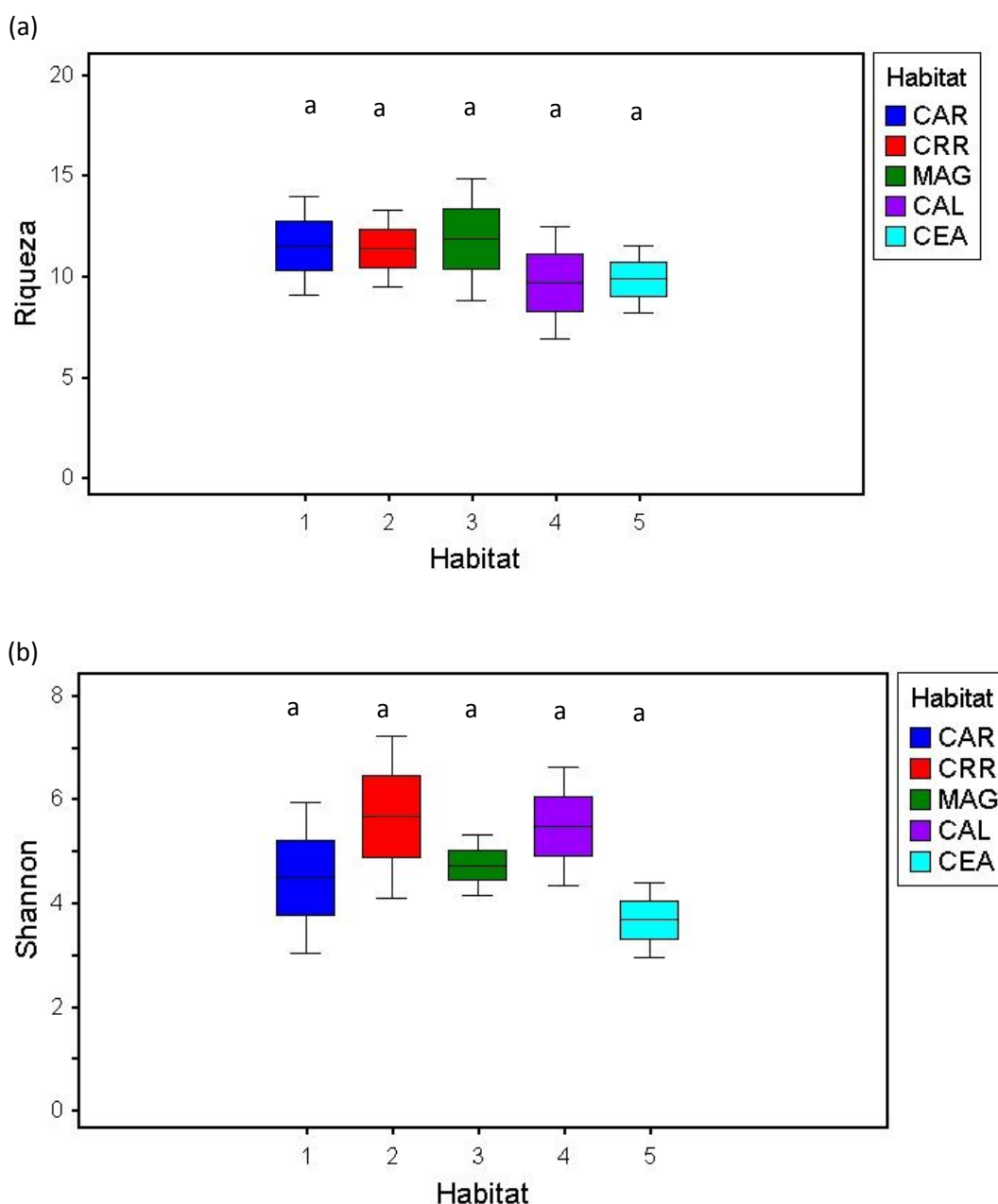
Espécies	CEA	CAL	MAG	CRR	CAR	Grupo	Valor de indicação (VI)	P*
<i>Rhizoglosum intraradices</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) Sieverd., G.A. Silva & Oehl		X		X		CAL	9.2	1.0000
<i>Rhizoglosum</i> sp.				X		CRR	50.0	0.0249
Gigasporaceae								
<i>Gigaspora decipiens</i> I.R. Hall & L.K. Abbott		X		X		CAL	27.4	0.1695
<i>Gigaspora gigantea</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	X		X		X	MAG	20.1	0.3617
<i>Gigaspora margarita</i> W.N. Becker & I.R. Hall	X	X	X	X	X	MAG	19.3	0.5488
Intraornatosporaceae								
<i>Paradentiscutata bahiana</i> Oehl, Magna, B.T. Goto & G.A. Silva		X				CAL	16.7	1.0000
Paraglomeraceae								
<i>Paraglosum pernambucanum</i> Oehl, C.M. Mello, Magna & G.A. Silva				X		CRR	16.7	1.0000
Racocetraceae								
<i>Cetraspora aurinigrum</i> Oehl, L.L. Lima, Kozovits, Magna & G.A. Silva				X		CRR	16.7	1.0000
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.			X	X		MAG	36.0	0.0678
<i>Cetraspora</i> sp.		X			X	CAL	16.2	1.0000
<i>Racocetra fulgida</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.		X	X		X	CAL	7.8	1.0000
<i>Racocetra tropicana</i> Oehl, B.T. Goto & G.A. Silva			X			MAG	16.7	1.0000
Scutellosporaceae								
<i>Bulbospora minima</i> Oehl, Marinho, B.T. Goto & G.A. Silva	X	X	X	X	X	CRR	33.7	0.3312
<i>Orbispora pernambucana</i> (Oehl, D.K. Silva, N. Freitas, L.C. Maia) Oehl, G.A. Silva & D.K. Silva	X	X	X	X	X	CRR	29.5	0.3803
<i>Orbispora</i> sp.				X		CRR	16.7	1.0000
<i>Scutellospora aurigloba</i> (I.R. Hall) C. Walker & F.E. Sanders			X			MAG	16.7	1.0000
<i>Scutellospora calospora</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders	X	X	X	X	X	CEA	25.9	0.5633
<i>Scutellospora</i> sp. 1			X			MAG	66.7	0.0039
<i>Scutellospora</i> sp. 2		X		X		CRR	17.7	0.4719
<i>Scutellospora</i> sp. 3	X					CEA	16.7	1.0000
<i>Scutellospora spinosissima</i> C. Walker & Cuenca		X			X	CAL	27.4	0.3277

*valores de p são significativos quando menores que 0,05. As espécies são consideradas indicadoras quando VI > 25% e o $p < 0,05$ e estão destacadas em negrito. Fonte: A autora, 2016

Com a análise de espécie indicadora foi possível identificar cinco espécies indicadoras de algum dos habitats: *Acaulospora longula* e *Rhizoglosum* sp. são espécies indicadoras do habitat CRR, *Acaulospora* sp. 2 e *Scutellospora* sp. 1 são indicadoras da MAG e *Glomus brohultii* de CEA (Tabela 3).

A média da riqueza de FMA e do índice de Shannon por amostra não diferiu entre os habitats (Figura 6a e b; $p>0,05$).

Figura 6 - Riqueza de espécies (a) e índice de Shannon (b) de FMA identificados em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



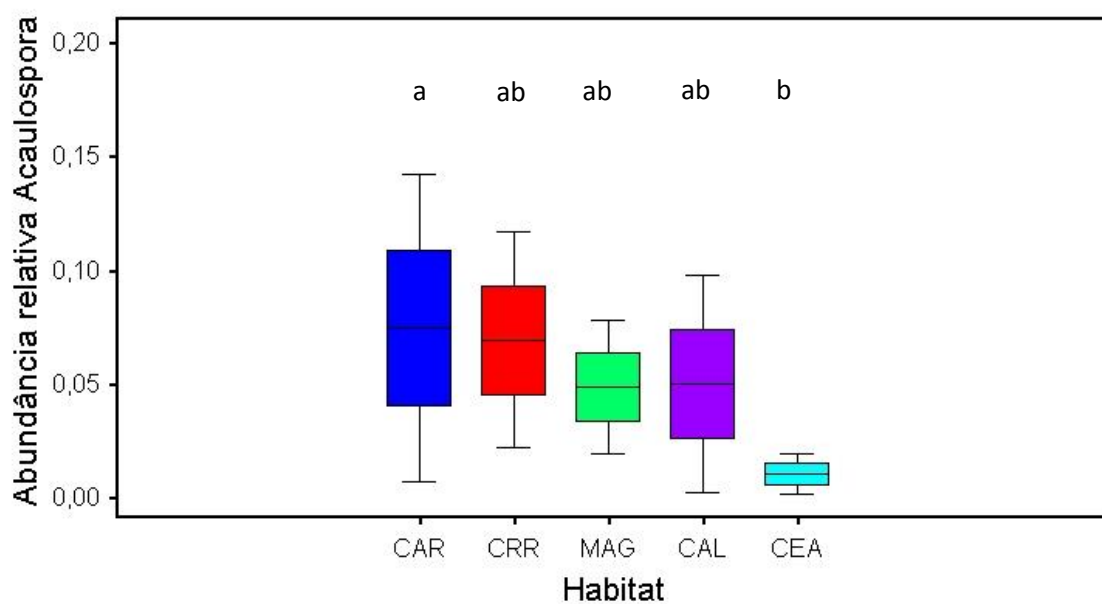
Fonte: A autora, 2016

A maioria dos gêneros não diferiu significativamente por amostra, entretanto *Acaulospora*, *Bulbospora* e *Glomus* mostraram diferentes abundâncias entre os habitats (Figura 7a, b e c). O número de indivíduos de *Acaulospora* foi significativamente maior no

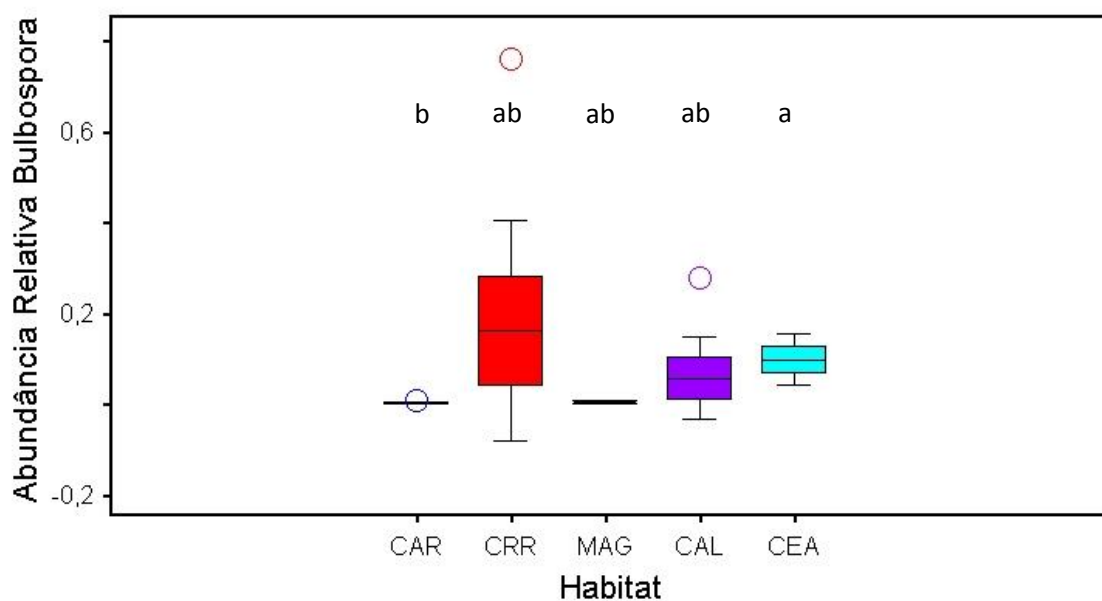
local de maior elevação, diferindo significativamente do de menor altitude, enquanto o gênero *Bulbospora* mostrou um padrão inverso. Representantes do gênero *Glomus* diferiram entre os habitats, com maior abundância em CAR, diferindo de CRR e CAL.

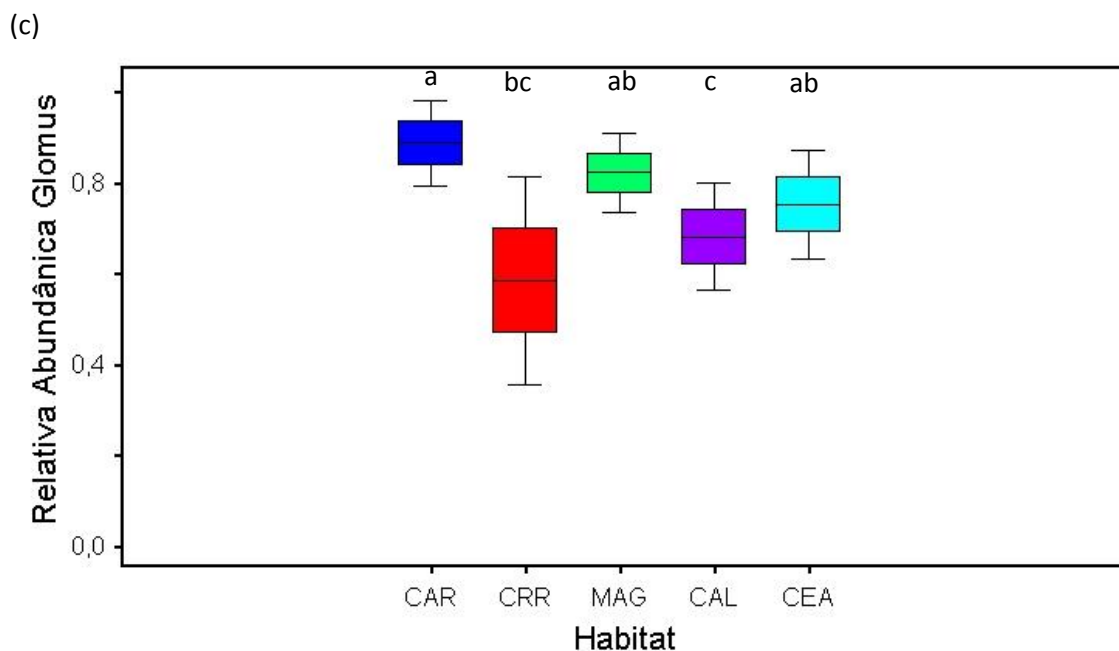
Figura 7 - Abundância relativa dos gêneros (%) *Acaulospora* (a), *Bulbospora* (b) e *Glomus* (c) em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(a)



(b)





Fonte: A autora, 2016

4.5 COMPOSIÇÃO DA COMUNIDADE DE FMA

A comunidade de FMA diferiu entre os habitats na Serra das Almas. A análise de permutação multivariada (PERMANOVA) evidenciou que os habitats avaliados diferem em relação à composição de espécies ($F=2.5461$; $p<0,05$). O local de menor altitude - CEA diferiu de todas as demais áreas (Tabela 4), enquanto que CAL diferiu apenas de CEA, MAG diferiu de CRR e CEA, CRR diferiu de CAR, MAG e CEA, não apresentando diferenças apenas em relação a CAL. CAR diferiu de CRR e CEA, sendo similar a MAG e CAL.

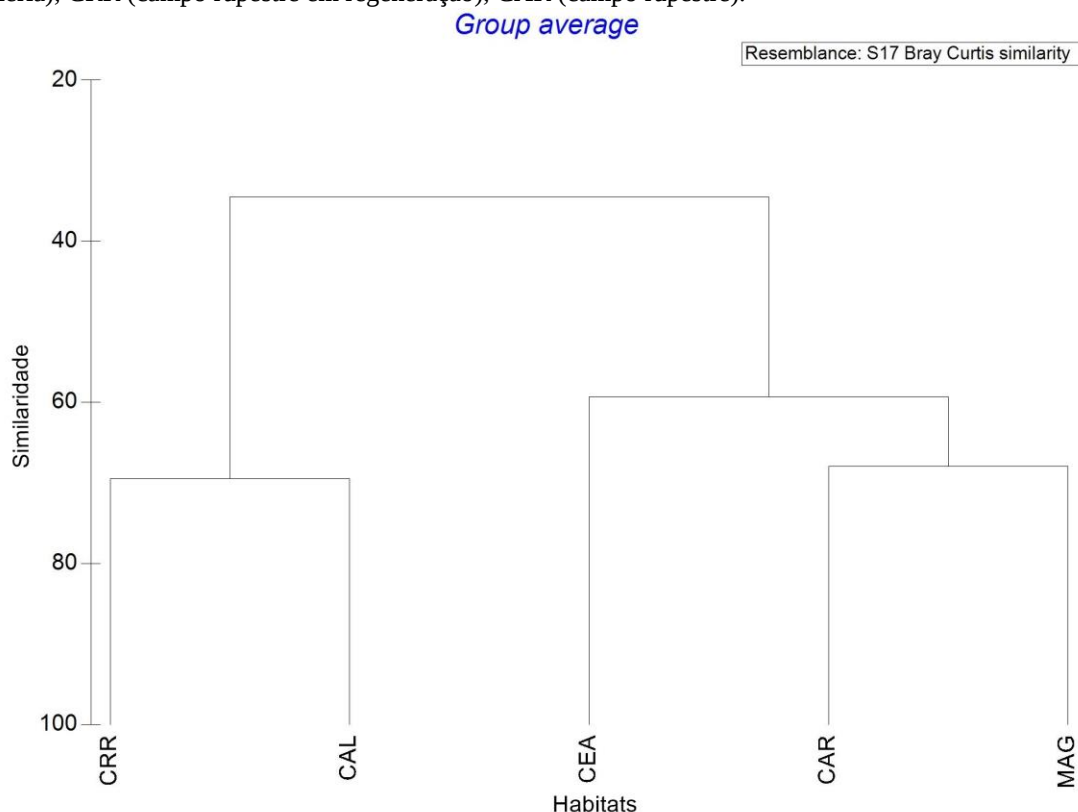
Tabela 4 - Análise da comparação entre os diferentes habitats pela análise de Permutação multivariada (PERMANOVA) em Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre).

Comparação habitats	P
CAR vs. CRR	0,0019
CAR vs. MAG	0,6374
CAR vs. CAL	0,1140
CAR vs. CEA	0,0137
CRR vs. MAG	0,0055
CRR vs. CAL	0,8914
CRR vs. CEA	0,0115
MAG vs. CAL	0,1538
MAG vs. CEA	0,0091
CAL vs. CEA	0,0185

Fonte: A autora, 2016

De acordo com o índice de similaridade de Sørensen, a comunidade de FMA dos habitats CAR e MAG são 70% similares, e estas são 60% similares com CEA. Por outro lado, a comunidade de FMA presente em CRR e CAL são 70% similares, e estes habitats possuem cerca de 35% de similaridade com os demais (Figura 8).

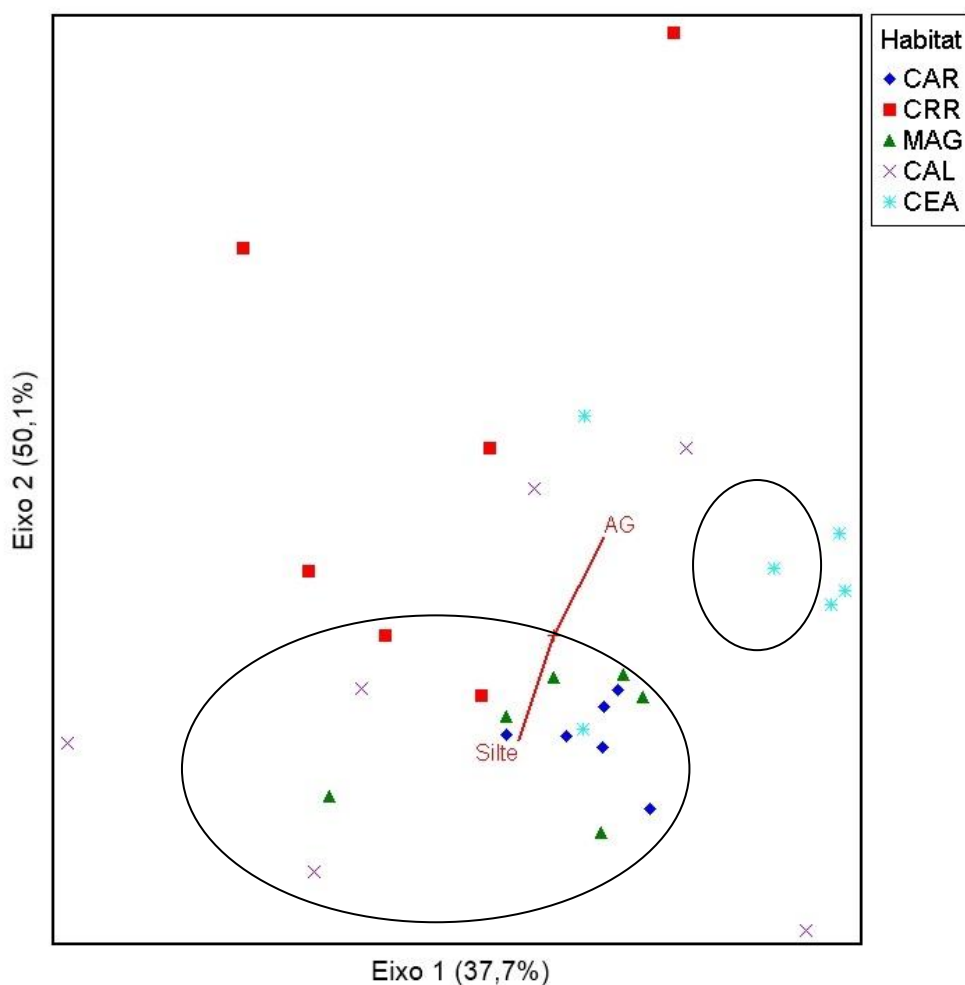
Figura 8 - Análise de agrupamento utilizando-se o índice de Sørensen para calcular a similaridade de espécies de FMA em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre).



Fonte: A autora, 2016

A análise de NMS mostrou a separação entre os habitats com o CEA se apresentando distinto das demais. Os eixos do NMS explicaram aproximadamente 88% da variação dos dados e o conteúdo de silte se correlacionou negativamente com o eixo 2; enquanto que o conteúdo de areia grossa se correlacionou positivamente com o mesmo eixo (Figura 9).

Figura 9 - Análise de escalonamento multidimensional com base na comunidade de FMA correlacionado com atributos do solo em cinco habitats da Serra das Almas, Bahia: CEA (cerrado de altitude), CAL (campo limpo), MAG (mata de galeria), CRR (campo rupestre em regeneração), CAR (campo rupestre).



Fonte: A autora, 2016

Nos vasos de cultivos de cultura armadilha foram recuperadas 19 espécies: *Acaulospora mellea*, *Acaulospora* sp. 2, *Ambispora appendicula*, *Bulbospora minima*, *Cetraspora gilmorei*, *Claroideoglossum etunicatum*, *Kuklospora colombiana*, *Gigaspora margarita*, *Glomus brohultii*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum*, *G. microcarpum*, *Glomus* sp. 1, *Glomus* sp. 2, *Glomus* sp. 4, *Paradentiscutata bahiana*, *Scutellospora calospora*, *Scutellospora* sp. 2 e *Orbispora pernambucana*. A partir das culturas armadilha foi possível registrar a espécie *Paradentiscutata bahiana* para o habitat CRR, uma vez que a partir das amostras do campo essa espécie havia sido identificada apenas em amostras coletadas no habitat CAL.

5 DISCUSSÃO

Os solos da Cadeia do espinhaço e Chapada Diamantina são ácidos e arenosos (GIULIETTI et al., 1987; CONCEIÇÃO; PIRANI, 2005). De acordo com Chaverri-Polini (1998), montanhas úmidas possuem solos ácidos com grande teor de alumínio, assim como os da Serra das Almas. Coutinho et al. (2015) sugeriram que os solos mais ácidos encontrados em maiores altitudes ocorrem devido a lixiviação. A maior concentração de matéria orgânica em CAR e MAG está associada ao tipo de substrato presente nessas duas fisionomias vegetacionais. Os microhabitats de afloramentos rochosos presentes em áreas de campos rupestres são conhecidos por possuir elevado teor de matéria orgânica (CONCEIÇÃO; PIRANI, 2005), enquanto MAG possui grande quantidade de serapilheira formada pela decomposição de material da parte aérea das plantas. Os habitats estudados mostram diferenças na textura do solo, que possuem diferentes teores de argila, areia e silte. Essas partículas de tamanho diferentes caracterizam condições do solo, tais como a porosidade que proporciona espaços no solo para os microrganismos.

No presente estudo, não foi possível observar nenhuma tendência entre a esporulação dos FMA e o gradiente de altitude. No entanto, a densidade de esporos foi maior no habitat de maior altitude, resultado que difere dos obtidos em montanhas na China (LI et al., 2014; GAI et al., 2012) e Argentina (LUGO et al., 2008), em que o número de esporos foi menor no ambiente de maior altitude. O número de esporos pode ter sido maior em CAR pelo número superior de microhabitats presentes nesse local, os quais são fornecidos pelos afloramentos rochosos. Além disso, os afloramentos rochosos são constituídos por um emaranhado de raízes densamente agrupadas (CONCEIÇÃO; GIULIETTI, 2002), que podem aumentar a disponibilidade de simbiose com os FMA.

Diversos fatores podem explicar as variações na distribuição da densidade dos esporos: propriedades do solo, idade da planta associada, dormência dos esporos e modificações geográficas (LUGO et al., 2008). Portanto, mais variáveis devem ser consideradas nas análises de FMA com a altitude para compreender quais são as maiores influências na esporulação. No presente trabalho, a média de número de esporos variou de 66,66 a 359,5 50 g⁻¹ solo nos habitats estudados, sendo esses valores similares aos observados em áreas de campos rupestres da Serra do Cipó (CARVALHO et al., 2012).

De modo geral, a colonização dos FMA nas raízes vegetais é menor no habitat de maior altitude (GAI et al., 2012; READ; HASELWANDTER, 1981; LI et al., 2014), e algumas vezes, plantas das altitudes mais altas não são capazes de realizar essa associação,

por isso o percentual de colonização pode ser menor (SCHMIDT et al., 2008). No entanto, no presente estudo não foi observado nenhuma relação entre colonização micorrízica e altitude. Schmidt et al. (2008) também observaram que as estruturas de FMA presentes nas raízes de plantas na Cordilheira dos Andes não apresentavam relação significativa com a altitude.

A média de colonização micorrízica total variou de 23,98 a 32,32%, esses valores de colonização radicular estão dentro do observado em outros ambientes de montanhas, como em áreas montanhosas no Tibete, onde o percentual de colonização variou de 14 a 50% (LI et al., 2014). A colonização por arbúsculos foi muito baixa (<1%) e a média variou de 0 a 0,29%, esses valores de colonização de arbúsculos foram inferiores aos observados em outros ambientes de montanha (LI et al., 2014). A média de colonização por hifas foi a mais abundante nos ambientes estudados, variando de 21,93 a 26,48%. Nas áreas estudadas houve predominância de taxa das famílias *Acaulosporaceae* e *Glomeraceae* perfazendo cerca de 50% de todos os táxons registrados, essas famílias são conhecidas por apresentarem maior produção de hifas intracelulares (HART; READER, 2002). Varela-Cervero et al. (2015), estudando os diferentes propágulos dos FMA, observaram que o gênero *Glomus* é mais encontrado dentro das raízes quando comparado a micélio extra radicular e esporos. Nesse sentido, a predominância desse gênero pode explicar a maior colonização por hifas registrada em nosso estudo.

Esse é o primeiro estudo sobre a diversidade de FMA em gradiente de altitude em diferentes ecossistemas da Chapada Diamantina e apresentou, no geral, grande riqueza de espécies na área de estudo. A riqueza de táxons obtida na Serra das Almas foi similar a outras áreas de campo rupestre no Brasil. Carvalho et al. (2012), analisando quatro habitats diferentes de campos rupestres e um de cerrado na Serra do Cipó (MG), registraram 49 espécies de FMA e Coutinho et al. (2015) recuperaram 51 táxons na mesma área. Em ambientes de cerrado também em Minas Gerais, foram identificadas apenas 19 espécies de FMA (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO; OLIVEIRA, 1989).

Os taxa pertencentes aos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* representam 50% de todas as espécies identificadas nos locais estudados, esses gêneros são comumente referidos com maior predominância na maioria dos ecossistemas (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015; PEREIRA et al., 2014; CARVALHO et al., 2012; COUTINHO et al., 2015; BONFIM et al., 2016), porém, deve-se considerar que esses gêneros são os que apresentam maior número de espécies descritas (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008). Além disso, esses gêneros foram mais abundantes no habitat de maior altitude (CAR), o que também foi observado por Coutinho et al. (2015) em áreas de altitude na Serra do Cipó (MG, Brasil).

As espécies identificadas na Serra das Almas representam 21% da riqueza conhecida mundialmente, sendo que três táxons são novos registros para o Brasil: *Diversispora eburnea*, *Tricispora nevadensis*, *Dominikia bernensis* e 13 para o ecossistema de campos rupestres: *Acaulospora foveata*, *Acaulospora laevis*, *Bulbospora minima*, *Dentiscutata cerradensis*, *Diversispora eburnea*, *Dominikia bernensis*, *Paradentiscutata bahiana*, *Paraglomus pernambucanum*, *Racocetra tropicana*, *Rhizoglosum intraradices*, *Scutellospora aurigloba*, *Scutellospora spinosissima* e *Tricispora nevadensis*. Cerca de 25% das espécies identificadas são novos registros para o estado da Bahia. Dentre as espécies encontradas em todos os habitats da Serra das Almas, *Scutellospora calospora*, *Claroideoglosum etunicatum* e *Glomus macrocarpum* foram identificadas nos cinco habitats de campos rupestres na Serra do Cipó (CARVALHO et al., 2012) e nos ecossistema de campos ferruginosos em Minas Gerais (LIMA, 2014b), mostrando que esses táxons estão bem distribuídos nos ecossistemas de campos rupestres.

Vinte táxons só ocorreram em um dos habitats: *Acaulospora foveata* e *Scutellospora* sp. 3 só ocorreram em CEA; *Acaulospora laevis*, *Diversispora eburnea*, *Rhizoglosum* sp., *Paraglomus pernambucanum*, *Cetranspora auronigra* e *Orbispora* sp. ocorreram apenas em CRR; *Acaulospora* sp. 1, *Dentiscutata cerradensis*, *Glomus* sp. 5, *Racocetra tropicana*, *Scutellospora aurigloba* e *Scutellospora* sp. 1 só ocorreram em MAG; *Kuklospora colombiana*, *Kuklospora* sp., *Tricispora nevadensis* e *Paradentiscutata bahiana* ocorreram apenas em CAL; e *Dominikia bernensis* e *Funneliformis mosseae* só ocorreram em CAR.

Cetranspora auronigra foi descrita recentemente ocorrendo em ecossistemas de campo rupestre ferruginoso e floresta tropical montanhosa no estado de Minas Gerais (LIMA et al., 2014a) e neste trabalho essa espécie foi encontrada em CRR. *Acaulospora alpina*, identificada inicialmente nos Alpes da Suíça em altitudes acima de 1.300 m (OEHL et al., 2006), foi identificada também na Serra das Almas, em áreas com aproximadamente 500 m de altitude na Índia (RAJKUMAR; SEEMA; KUMAR, 2012) e nos Andes Chilenos entre 550 e 1.600 m de altitude (CASTILLO et al., 2006), mostrando que essa espécie é indicativa de locais de altitude. Este resultado ressalta a importância de mais estudos em áreas altas de ecossistemas tropicais, visando ampliar o conhecimento sobre a distribuição dos FMA. *Tricispora nevadensis* (anteriormente *Entrophospora nevadensis*) também foi relatada aqui, essa espécie foi descoberta na Espanha associada a quatro espécies de plantas numa altitude de 1.900 a 3.090 m (PALENZUELA et al., 2010).

A análise de espécie indicadora foi realizada para determinar qual táxon representa os habitats estudados e possivelmente sua preferência ambiental. *Glomus brohultii* foi a espécie

indicadora para o habitat CEA, sendo a mais comumente encontrada em estudo realizado em área de campo rupestre (PAGANO; SCOTTI, 2009). *Acaulospora longula* foi considerada indicadora do habitat CRR, essa espécie foi encontrada também em áreas de Mata Atlântica no Brasil (GOMES; TRUFEM, 1998; CARRENHO; TRUFEM; BONONI, 2001; ZANGARO et al., 2013). As demais espécies consideradas indicadoras são possíveis novos táxons para a ciência. A curva de acumulação das espécies não atingiu um platô, e possivelmente mais espécies seriam obtidas se mais coletas fossem realizadas em períodos diferentes, visto que algumas espécies de FMA podem ter preferências sazonais e não esporular, se mantendo sob a forma de outro tipo de propágulo no solo (ZANGARO; MOREIRA, 2010). Outra maneira de se adicionar espécies que não estavam esporulando no campo é a partir da utilização da técnica de cultura armadilha, mas no presente estudo não foi possível adicionar nenhuma espécie com essa técnica. Apesar de não ter adicionado espécies a lista, a cultura armadilha permitiu aumentar o número de táxons em um dos habitats, pois *P. bahiana* não havia sido recuperada nas amostras de campo de CRR. As condições de cultivo em pote podem ter favorecido a esporulação dessa espécie que possivelmente estava inativa, visto que não foi recuperada na análise amostral desse habitat anteriormente. Porém, deve-se considerar que nem sempre a quantificação de espécies de uma amostra de solo representa toda a comunidade fúngica presente naquele momento.

No presente estudo, a riqueza e diversidade de FMA não apresentaram variação entre os tipos de habitats. Neste sentido, GAI et al. (2012) também não verificaram diferença na diversidade com acréscimo da elevação. Entretanto, esse resultado contrasta com a maioria dos trabalhos, nos quais ocorrem mudanças na distribuição de espécies ao longo do gradiente de altitude, com a riqueza diminuindo (SHI et al., 2014; GAI et al., 2012; LUGO et al., 2008), ou aumentando significativamente conforme aumento da altitude (BONFIM et al., 2016), ou mesmo em altitudes intermediárias (COUTINHO et al., 2015). Esses resultados evidenciam que outros fatores além da altitude podem estar atuando na determinação da comunidade de FMA. Apesar de não encontrar diferença entre a riqueza e o índice de diversidade em um aspecto geral, a distribuição de alguns gêneros foram predominantes em alguns habitats em relação aos demais. O gênero *Bulbospora*, representado pela única espécie *Bulbospora mínima*, foi descrito em 2014 em áreas de Caatinga e afloramentos rochosos em Pernambuco, numa área a 900 m acima do nível do mar (MARINHO et al., 2014), sendo o mesmo registrado em todos habitats da Serra das Almas, no entanto, foi predominante no habitat de altitude mais baixa. Possivelmente, essa espécie possui preferência por solos com alto teor de areia, visto que o gênero predominou no habitat CEA, que possui solos mais arenosos em

relação aos demais habitats e, além disso, os autores referem que o local em que a espécie foi encontrada apresenta substrato arenoso (MARINHO et al., 2014). *Glomus* e *Acaulospora* foram encontrados principalmente nos habitats de maior altitude. Esses gêneros podem não apresentar restrição a condições ambientais mais adversas, como nos topos frios e úmidos das montanhas. De acordo com Varela-Cervero et al. (2015), possivelmente as espécies do gênero *Glomus* tem propágulos com diferentes estratégias de vida. Em análise de um gradiente de altitude na Argentina, Lugo et al. (2008) identificaram apenas a família Glomeraceae nas maiores altitudes (3.700 a 3.870 m); enquanto na China, a família Glomeraceae apresentou maior abundância relativa nas menores elevações, enquanto Acaulosporaceae predominou na maior altitude de 4.648 m (GAI et al., 2012).

Através da análise de permutação multivariada e do índice de Sørensen foi possível visualizar que certos habitats possuem a comunidade de FMA mais similar entre si. A comunidade de FMA em CRR foi mais similar à encontrada em CAL, provavelmente por influência do maior teor de argila nessas fisionomias vegetacionais. Além disso, esses habitats tiveram maior diversidade de espécies, apesar de não ter ocorrido variação significativa (Figura 6b). Os fungos em CAR e MAG podem ter sido similares pela maior quantidade de matéria orgânica nessas áreas. A matéria orgânica pode influenciar a composição da comunidade de microrganismos do solo (BARDGETT et al., 2005), incluindo os FMA (JOHNSON et al., 1991), com o aumento de altitude (BONFIM et al., 2015). Entretanto, Bainard et al. (2015) não observaram mudança na diversidade de micorrizas apesar da mudança no teor dessa variável do solo em pradarias no Canadá. Dessa forma, outros fatores também podem ser determinantes. Os FMA de CEA foram menos similares com os demais habitats, possivelmente pelo maior teor de areia grossa, como foi indicado na análise multivariada, que mostrou clara separação de CEA (Figura 9).

A análise multivariada evidenciou que os atributos físicos do solo, teores de areia e silte foram as características do solo mais correlacionadas com a distribuição das espécies na Serra das Almas. Carvalho et al. (2012) também constataram que os atributos físicos do solo influenciaram as comunidades de FMA em áreas de campos rupestres.

A comunidade de FMA da Serra das Almas foi 34,6% similar com a que foi encontrada no cerrado e campos rupestres da Serra do Cipó (CARVALHO et al., 2012), que estão separadas a cerca de 670 km, evidenciando que os ecossistemas de campos rupestres tem comunidades de FMA com baixa similaridade. Estudos florísticos demonstram que a vegetação da Cadeia do Espinhaço bahiana tem 30% de similaridade com a de Minas Gerais (KAMINO; OLIVEIRA-FILHO; STEHMANN, 2008). Os autores sugerem que a baixa

similaridade possivelmente é causada pelos biomas diferentes que circundam cada área, sendo Cerrado em Minas Gerais e Caatinga nas terras baixas da Bahia.

Scutellospora sp.1 e *Scutellospora* sp. 2 constituem novos táxons para a ciência e estão sendo descritos a partir dessa pesquisa. É possível que mais espécies novas sejam descritas nas áreas de campos rupestres, pois estes ecossistemas tem alto grau de endemismo vegetal (VIANA; FILGUEIRAS, 2008) e, provavelmente, há certo grau de endemismo dos microrganismos associados às plantas. Nesse sentido, Carvalho et al. (2012) sugeriram que seis novos táxons poderiam ser descritos dos locais estudados na Serra do Cipó-MG; recentemente, nesse mesmo local, Coutinho et al. (2015) verificaram que mais 10 táxons poderiam ser descritos, evidenciando que os ambientes de altitude abrigam uma grande diversidade de FMA e que podem ser considerados hotspots de diversidade desses fungos, como sugerido por Carvalho et al. (2012).

6 CONCLUSÕES

O número de glomerosporos e a colonização micorrízica não apresentam padrão em relação ao aumento da altitude nos habitats analisados;

Não há variação na riqueza e diversidade dos FMA nos habitats estudados, entretanto a composição da comunidade de FMA difere entre as fisionomias vegetacionais e é influenciada principalmente pelos atributos físicos do solo (teores de areia grossa e silte);

A Serra das Almas apresenta elevada riqueza de espécies de FMA e pode ser considerado *hotspot* para conservação da diversidade desse importante grupo de fungos, com dois novos táxons sendo descritos a partir desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 21. 1992. **United Nations Conference on Environment & Development**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/outcomedocuments/agenda21>> Acessado em: 20 out. 2015.
- ALLEN, M.F. et al. Ecology of Mycorrhizae: A Conceptual Framework for Complex Interactions Among Plants and Fungi. **Annu. Rev. Phytopathol**, v. 41, p. 271-303, 2003.
- ANTONINKA, A.J.; RITCHIE, M.E.; JOHNSON, N.C. The hidden Serengeti - Mycorrhizal fungi respond to environmental gradients. **Pedobiologia**, v. 58, 165-176, 2015.
- AUGÉ, R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 3-42, 2001.
- BAINARD, L.D. et al. Arbuscular mycorrhizal fungal communities are influenced by agricultural land use and not soil type among the Chernozem great groups of the Canadian Prairies. **Plant Soil**, v. 387, p. 351-362, 2015.
- BARDGETT, R.D. et al. A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 11, p. 634-641, 2005.
- BEENHOUWER, M. et al. Changing soil characteristics alter the arbuscular mycorrhizal fungi communities of Arabica coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia across a management intensity gradient. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 91, p. 133-139, 2015.
- BENITES, V.M. et al. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasil. Bot.**, v. 30, n. 4, p. 569-577, 2007.
- BISSETT, A. et al. Microbial community responses to anthropogenically induced environmental change: towards a systems approach. **Ecology Letters**, v. 16, p. 128-139, 2013.
- BLASZKOWSKI, J. **Glomeromycota**. Polish Academy of Sciences, Krakow, p. 303, 2012.
- BONFANTE, P.; GENRE, A. Mechanisms underlying beneficial plant – fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. **Nature Communications**, v. 1, n. 48, 1-11, 2000.
- BONFIM, J.A. et al. Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in a Brazilian Atlantic Forest Toposequence. **Microb. Ecol.**, v. 71, n. 1, p. 164-177, 2016.
- BORGES, R.A.X.; CARNEIRO, M.A.A.; VIANA, P.L. Altitudinal distribution and species richness of herbaceous plants in campos rupestres of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 1, p. 139-152, 2011.
- BÖRSTLER, B. et al. Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. **Biol Fertil Soils**, v. 42, p. 286-298, 2006.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H. Capítulo 5c - **Community similarity** p. 161-164, 1984. In: Brower, J.E.; Zar, J.H.; von Ende, C.N. (Eds.). Field and laboratory methods for general ecology, 3 ed., Dubuque: W.C. Brown Publishers. 1984.

BROWN, J.H. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. **Global Ecology & Biogeography**, v. 10, p. 101–109, 2001.

BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. **Advances In Ecological Research**, v. 21, p. 171-313, 1991.

BRUNDRETT, M.C.; ASHWATH, N. Glomeromycotan mycorrhizal fungi from tropical Australia III. Measuring diversity in natural and disturbed habitats. **Plant Soil**, v. 370, p. 419-433, 2013.

BURROWS, R.L., PFLEGER, F.L. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. **Can. J. Bot.**, v. 80, p. 120-130, 2002.

CAIRNEY, J.W.G. Evolution of mycorrhiza systems. **Naturwissenschaften**, v. 87, p. 467-475, 2000.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos Micorrízicos Arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta bot. bras.**, v. 15, n. 1, p. 115-124, 2001.

CARVALHO et al. The mosaico of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 52, p. 9-19, 2012.

CASTILLO, C.G. et al. Diversity of mycorrhizal plant species and arbuscular mycorrhizal fungi in evergreen forest, deciduous forest and grassland ecosystems of Southern Chile. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 80, p. 40-47, 2006.

CHAVERRI-POLINI, A. Mountains, biodiversity and conservation. **Unasylva**, v. 195, p. 22-33, 1998.

CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. **PRIMER v6: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth, p. 192, 2006.

CONCEIÇÃO et al. Capítulo 6 - **Campos rupestres** p. 154-168, 2005. In: Juncá, F.A., Funch, L., Rocha, W. (orgs.) Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2005.

CONCEIÇÃO, A.A.; GIULIETTI, A.M. Composição florística e aspectos estruturais de campo rupestre em dois platôs do Morro do Pai Inácio, chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Hoehnea**, v. 29, n. 1, p. 37-48. 2002.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. **Rodriguésia**, v. 58, n. 1, p. 193-206, 2007.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R.; MEIRELLES, S.T. Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 30, n. 4, p. 641-656, 2007.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R. Delimitação de habitats em campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia: substratos, composição florística e aspectos estruturais. **Bol. Bot. Univ.**, v. 23, n. 1, p. 85-111, 2005.

- COTTON, T.E.A. et al. Fungi in the future: interannual variation and effects of atmospheric change on arbuscular mycorrhizal fungal communities. **New Phytologist**, v. 205, p. 1598-1607, 2015.
- COUTINHO, E.S. et al. Variation of arbuscular mycorrhizal fungal communities along an altitudinal gradient in rupestrian grasslands in Brazil. **Mycorrhiza**, v. 25, n. 8, p. 627-638, 2015.
- DAVISON, J. et al. Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. **Science**, v. 349, n. 6251, p. 970-973, 2015.
- DECLERCK, S. et al. Modelling the sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in monoxenic culture. **Mycorrhiza**, v. 11, p.225-230, 2001.
- de SOUZA, F.A. et al. Capítulo x - **Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil** p. 15-73, 2010. In: Siqueira, J.O.; de Souza F.A.; Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M. (Eds.). Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras: UFLA. 2010.
- DUFRENE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, v. 67, n. 3, p. 345-366, 1997.
- EISENLOHR, P.V. et al. Disturbances, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. **Biodivers Conserv**, v. 22, p. 2767–2783, 2013.
- EMERY, S.M et al. Patterns of Trophic-level Diversity Associated with Herbaceous Dune Vegetation Across a Primary Successional Gradient. **Am. Midl. Nat.**, v. 173, p. 177-190, 2015.
- FINLAY, R.D. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. **Mycologist**, v. 18, n. 2, p. 91-96, 2004.
- FISCHER, A.; BLASCHKE, M.; BÄSSLER, C. Altitudinal gradients in biodiversity research: the state of the art and future perspectives under climate change aspects. **Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz**, v. 11, p. 35-47, 2011.
- FISHER, M.A.; FULÉ, P.Z. Changes in forest vegetation and arbuscular mycorrhizae along a steep elevation gradient in Arizona. **Forest Ecology and Management**, v. 200, p. 293-311, 2004.
- FITTER, A.H. Darkness visible: reflections on underground ecology. **Journal of Ecology**, v. 93, p. 231–243, 2005.
- GAI, J.P. et al. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity along a Tibetan elevation gradient. **Pedobiologia**, v. 55, p. 145-151, 2012.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, p. 235-244, 1963.
- GIANINAZZI, S. et al. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 8, p. 519-530, 2010.

- GIUDICE, D.S.; SOUZA, R.M. Geodiversidade e Lógicas Territoriais na Chapada Diamantina. **Revista De Desenvolvimento Econômico**, v. 19, p. 65-74, 2009.
- GIUDICE, D.S.; SOUZA, R.M. Geologia e Geoturismo na Chapada Diamantina. **Gest. tur.**, v. 14, p. 69 -81, 2010.
- GIULIETTI, A.M., FORERO, E. "Workshop" diversidade taxonômica e padrões de distribuição das angiospermas brasileiras - Introdução. **Acta bot. bras.**, v. 4, n. 1, p. 3-10, 1990.
- GIULIETTI, A.M. et al. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista de espécies. **Bolm. Botânica**, v. 9, n. 1, p. 1-151, 1987.
- GOMES, S.P.; TRUFEM, S.F.B. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zygomycota) na Ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. **Acta bot. bras.**, v. 12, n. 3, p. 393-401, 1998.
- GONTIJO, B.M. Uma geografia para a Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 7-14, 2008.
- GOTO, B.T.; MAIA, L.C. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. **Mycotaxon**, v. 96, p. 129-132, 2006.
- GUADARRAMA, P. et al. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in changing environments: The effects of seasonality and anthropogenic disturbance in a seasonal dry forest. **Pedobiologia**, v. 57, p. 87–95, 2014.
- GUO, X.; GUOG, J. Differential effects of abiotic factors and host plant traits on diversity and community composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungi in a salt-stressed ecosystem. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 79–94, 2014.
- HARLEY, R.M. **Introdução** p. 43-79, 1995. In: Stannard, B.L. Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. Kew, Royal Botanic Gardens. 1995.
- HART, M.M.; READER, R.J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 153, p. 335-344, 2002.
- HART, M.M.; READER, R.J.; KLIRONOMOS, J.N. Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics. **Mycologia**, v. 93, n. 6, p. 1186-1194, 2001.
- HASELWANDTER, K.; READ, D.J. Fungal Associations of Roots of Dominant and Sub-Dominant Plants in High-Alpine Vegetation Systems With Special Reference to Mycorrhiza. **Oecologia**, v. 45, p. 57-62, 1980.
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, n. 692, p. 338, 1964.
- JOHNSON et al. Dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizae during old field succession. **Oecologia**, v. 86, p. 349-358, 1991.

KAMINO, L.H.Y.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; STEHMANN, J.R. Relações florísticas entre as fitofisionomias florestais da Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 38-77, 2008.

KIVLIN, S.N.; HAWKES, C.V.; TRESEDER, K.K. Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 2294-2303, 2011.

KÖRNER, C. The use of 'altitude' in ecological research. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 22, n. 11, p. 569-574, 2007.

LI, X. et al. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with two co-occurring perennial plant species on a Tibetan altitudinal gradient. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 95-107, 2014.

LIMA, L.L. et al. *Cetraspora auronigra*, a new glomeromycete species from Ouro Preto (Minas Gerais, Brazil). **Sydowia**, v. 66, p. 299-308, 2014a.

LIMA, L.L. **Diversidade e Aplicação de Fungos Micorrizicos Arbusculares em Complexo Ferruginoso, no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. Dissertação - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP, Ouro Preto, p. 73, 2014b.

LIU, L. et al. Altitudinal distribution patterns of AM fungal assemblages in a Tibetan alpine grassland. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 91, n. 7, p. 1-11, 2015.

LIU, Y. et al. Diverse communities of arbuscular mycorrhizal fungi inhabit sites with very high altitude in Tibet Plateau. **FEMS Microbiol Ecol**, v. 78, p. 355–365, 2011.

LUGO M.A. et al. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizospheric Bacteria Diversity Along an Altitudinal Gradient in South American Puna Grassland. **Microb Ecol**, v. 55, p. 705-713, 2008.

MAIA, L.C., SILVA, F.S.B., GOTO, B.T. Capítulo 3 - **Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos** p. 75-118, 2010. In: Siqueira, J.O., de Souza, F.A., Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M. (eds.) *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras, UFLA. 2010.

MARINHO, F. et al. *Bulbospora minima*, a new genus and a new species in the Glomeromycetes from semi-arid Northeast Brazil. **Sydowia**, v. 66, n. 2, p. 313-323, 2014.

MCGONIGLE, T.P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.

OEHL, F. et al. *Acaulospora nivalis*, a new fungus in the Glomeromycetes, characteristic for high alpine and nival altitudes of the Swiss Alps. **Nova Hedwigia**, v. 95, p. 105-122, 2012.

OEHL, F. et al. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. **IMA Fungus**, v. 2, p. 191-199, 2011.

OEHL, F. et al. *Acaulospora alpina*, a new arbuscular mycorrhizal fungal species characteristic for high mountainous and alpine regions of the Swiss Alps. **Mycologia**, v. 98, n. 2, p. 286–294, 2006.

PAGANO, M.C.; SCOTTI, M.R. A survey of the arbuscular mycorrhiza occurrence in *Paepalanthus bromelioides* and *Bulbostylis* sp. in rupestrian fields, Brazil. **Micología Aplicada Internacional**, v. 21, n. 1, p. 1-10, 2009.

PALENZUELA J. et al. *Entrophospora nevadensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Sierra Nevada National Park (southeastern Spain). **Mycologia**, v. 102, n. 3, p. 624–632, 2010.

PALENZUELA, J. et al. *Acaulospora viridis*, a new species in the Glomeromycetes from two mountain ranges in Andalucía (Spain). **Nova Hedwigia**, v. 99, n. 1-2, p. 71-82, 2014.

PALENZUELA, J. et al. *Acaulospora pustulata* and *Acaulospora tortuosa*, two new species in the Glomeromycota from Sierra Nevada National Park (southern Spain). **Nova Hedwigia**, v. 97, p. 305-319, 2013a.

PALENZUELA, J. et al. *Septoglomus altomontanum*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from mountainous and alpine areas in Andalucía (southern Spain). **IMA Fungus**, v. 4, p. 243-249, 2013b.

PASZKOWSKI, U. A journey through signaling in arbuscular mycorrhizal symbioses. **New Phytologist**, v. 172, p. 35-46, 2006.

PEREIRA et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Atlantic forest areas under different land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 185, p. 245-252, 2014.

PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-160, 1970.

PIRANI, J.B., MELLO-SILVA, R., GIULIETTI, A.M. Flora de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. **Bol. Bot. Univ. São Paulo**, v. 21, n. 1, p. 1-24, 2003.

POMPEU, P.V. et al. Diversidade Beta em Floresta Nebular ao Longo de um Gradiente de Altitude (1500 a 2100 metros) na Serra da Mantiqueira, em Minas Gerais. **Anais do X Congresso de Ecologia do Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/xceb/>> Acessado em 20 nov. 2015.

PRADO, D.E. Capítulo 1 - **As Caatingas da América do Sul** p. 3-73, 2003. In: Leal, I.R., Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (eds.) *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Univ. Federal de Pernambuco, Recife. 2003.

QUEIROZ, L.P. et al. Capítulo 4 - **Caatinga** p. 95-120, 2005. In: Juncá, F.A., Funch, L., Rocha, W. (orgs.) *Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2005.

RAHBEK, C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? **Ecography**, v. 18, n. 2, p. 200-205, 1995.

RAJKUMAR, H.G.; SEEMA, H.S.; KUMAR C. P.S. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with some medicinal plants in Western Ghats of Karnataka region, India. **World Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 1, p. 13-20, 2012.

RAMOS, A.C.; MARTIM, M.A. Capítulo 5 - **Fisiologia de micorrizas arbusculares** p. 133-152, 2010. In: Siqueira, J.O.; de Souza F.A.; Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M. (Eds.). *Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil*. Lavras: UFLA. 2010.

RAPINI, A. et al. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 15-23, 2008.

READ, D.J.; HASELWANDTER, K. Observations on the Mycorrhizal Status of Some Alpine Plant Communities. **New Phytol.**, v. 88, p. 341-352, 1981.

ROCHA, W. et al. Capítulo 2 - **Unidades de paisagem da Chapada Diamantina – BA** p. 47-64, 2005. In: Juncá, F.A., Funch, L., Rocha, W. (orgs.) Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2005.

RODELA, L.G. Cerrados de altitude e campos rupestres do Parque Estadual do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais: distribuição e florística por subfisionomias da vegetação. **Rev. Dep. Geogr.**, v. 12, p. 163-189, 1998.

SANDERS, I.R. Preference, specificity and cheating in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Trends in Plant Science**, v. 8, n. 4, p. 143-145, 2003.

SANDERS, I.R. Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity – are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques? **New Phytologist**, v. 164, p. 415–418, 2004.

SCHENCK, N.C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. 3^o Ed. Gainesville, Synergistic Publications, 286 p, 1990.

SCHMIDT, S.K. et al. Mycorrhizal and Dark-Septate Fungi in Plant Roots Above 4270 Meters Elevation in the Andes and Rocky Mountains. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v. 40, n. 3, p. 576-583, 2008.

SHI, Z. et al. Diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi along altitudinal gradients in Mount Taibai of the Qinling Mountains. **Can. J. Microbiol.**, v. 60, p. 811-818, 2014.

SILVA, I.R. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 166–175, 2014.

SILVA et al. Communities of arbuscular mycorrhizal fungi on a vegetation gradient in tropical coastal dunes. **Applied Soil Ecology**, v. 96, p. 7-17, 2015.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, v. 24, n. 12, p. 1499-1506, 1989.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Capítulo 1 - **The symbionts forming arbuscular mycorrhizas** p. 13-41, 2008. In: Smith, S.E.; Read, D.J. Mycorrhizal Symbiosis. San Diego: Academic Press, 3 Ed. 2008.

SPEHN, E.M. et al. Capítulo 1 - **Mountain biodiversity – a global heritage** p. 7-15, 2010. In: Spehn, E.M., Rudmann-Maurer, K., Körner, C. Mountain Biodiversity and Global Change. Global Mountain Biodiversity Assessment (GMBA), Institute of Botany, University of Basel, Schönbeinstr, Switzerland. 2010.

STANNARD, B.L. **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil**. Kew, Royal Botanic Gardens. p.877, 1995.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Capítulo 16 - **Diversidade de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Ecossistemas Brasileiros** p. 537-583, 2008. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira,

J.O.; Brussaard L. (Orgs.). Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros. Lavras: UFLA, 2008.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A. et al. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, v. 205, p. 1406-1423, 2015.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A. et al. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. **New Phytologist**, n. 172, p. 739–752, 2006.

VARELA-CERVERO, S. et al. The composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities differs among the roots, spores and extraradical mycelia associated with five Mediterranean plant species. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 8, p. 2882–2895, 2015.

VASCONCELOS, M.F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Revista Brasil. Bot.**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

VIANA, P.L.; FILGUEIRAS, T.S. Inventário e distribuição geográfica das gramíneas (Poaceae) na Cadeia do Espinhaço, Brasil. **Megadiversidade**, v. 4, p. 71-88, 2008.

WALL D.H.; MOORE, J.C. Interactions Underground: soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. **BioScience**, v. 49, n. 2, p. 109-117, 1999.

WATANABI, M.T.C., ROQUE, N., RAPINI, A. Apocynaceae sensu strictum no Parque Municipal de Mucugê, Bahia, Brasil, incluindo a publicação válida de dois nomes em Mandevilla Lindl. **Iheringia**, v. 64, n. 1, p. 63-75, 2008.

WILKINSON, D.M. Mycorrhizal evolution. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 2, p. 64-65, 2001.

ZANGARO et al. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. **Mycorrhiza**, v. 23, p. 221–233, 2013.

ZANGARO, W.; MOREIRA, M. Capítulo 9 - **Micorrizas Arbusculares nos Biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária** p. 279-310, 2010. In: Siqueira, J.O.; de Souza F.A.; Cardoso, E.J.B.N.; Tsai, S.M. (Eds.). Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil. Lavras: UFLA. 2010.

ZAPPI, D.C. et al. Lista das plantas vasculares de Catolés, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Bol. Bot.**, v. 21, n. 2, p. 345-398, 2003.

ZHAO, C.M. et al. Altitudinal Pattern of Plant Species Diversity in Shennongjia Mountains, Central China. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 47, n. 12, p. 1431–1449, 2005.

<<http://glomeromycota.wix.com/lbmicorrizas>> Acesso em: 2 out. 2015.