



**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO
LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL NA CAATINGA**

IOLANDA RAMALHO DA SILVA

**RECIFE
FEVEREIRO/2013**



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

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO
LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL NA CAATINGA**

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

IOLANDA RAMALHO DA SILVA

Orientadora: Dra. Leonor Costa Maia

RECIFE
FEVEREIRO/2013

Catálogo na fonte
Elaine Barroso
CRB 1728

Silva, Iolanda Ramalho da

Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente vegetacional na Caatinga/ Iolanda Ramalho da Silva– Recife: O Autor, 2013.

96 folhas : il., fig., tab.

Orientadora: Leonor Costa Maia

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Biologia de Fungos, 2013.

Inclui bibliografia e apêndice

- 1. Fungos 2. Micorriza 3. Caatinga I. Maia, Leonor Costa (orientadora) II. Título**

579.5

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB- 2013- 320

**DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO
LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL NA CAATINGA**

IOLANDA RAMALHO DA SILVA

Data da defesa: 27/02/2013

COMISSÃO EXAMINADORA

MEMBROS TITULARES

Dra. Leonor Costa Maia – (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Francisco Adriano de Souza – Examinador Externo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Milho & Sorgo, Núcleo de
Biologia Aplicada.

Dra. Adriana Mayumi Yano de Melo – Examinador Interno
Universidade Federal do Vale do São Francisco

“Mãe não tem limite,
é tempo sem hora,
luz que não apaga
quando sopra o vento
e chuva desaba,
veludo escondido

...

Mãe, na sua graça,
é eternidade.”

Carlos Drummond de Andrade

Dedico à minha amada mãe.

Agradecimentos

Ao Deus maravilhoso pela saúde, vitória e força que me concede. Sem Ele nada disso seria possível.

À minha mãe, Maria da Conceição, que sempre me incentivou a batalhar pelos meus sonhos e para isso se dedicou e dedica até hoje. As vitórias alcançadas são frutos de agradecimento a essa mulher forte e batalhadora.

À minha avó Elvira, que contribuiu com a minha educação me apoiando e se dedicando incondicionalmente, sendo mais que uma avó em muitos momentos.

A Jailton, pelo apoio e carinho em todos os momentos da minha vida demonstrando que os laços de carinho e paternidade nem sempre precisam ser sanguíneos.

Ao meu namorado, Reginaldo Ferreira Neto, pela ajuda incondicional, compreensão, paciência que teve e tem comigo e por todo amor e carinho que me alegra e fortalece.

À Dra. Leonor Costa Maia, pela orientação e confiança.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Dr. Fritz Oehl, pela paciência em me ensinar um pouco do universo da taxonomia dos fungos micorrízicos e por colaborar com a identificação das espécies de FMA do presente estudo.

Ao Professor Gladstone Silva, pela revisão de parte da fundamentação teórica e pelas importantes sugestões dadas.

Ao professor André Laurênio e suas alunas, especialmente Juliana Silva, por ter auxiliado com a identificação das áreas e das espécies vegetais.

À Catarina Mello, Danielle Magna, Edvaneide Leandro, Frederico Marinho, Juliana Aparecida, Juliana Souza, Kelly Nascimento, Laís Lima, Larissa Vieira, Thaís Tiane e Vera Lúcia, pela amizade e incentivo.

À Danielle Karla, Inácio Pascoal, Indra Escobar, Josiane Freires, Lyssandra Teti, Rejane Silva e Vilma Santos, pelo apoio na execução de algumas etapas do trabalho.

À Professora Uided Cavalcante por contribuir com sugestões relevantes para melhoria do trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Adriana Yano Melo, Dr. Francisco Adriano, Dra. Marcela Pagano e Dra. Renata Gomes, pelas valiosas correções e sugestões.

Aos colegas de Laboratório de Micorrizas, pela companhia, momentos de descontração e troca de experiências.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) beneficiam as comunidades vegetais e a qualidade edáfica, contribuindo para a estabilidade dos ecossistemas terrestres. Contudo, os serviços ecossistêmicos prestados por esses fungos dependem da relação desenvolvida com o solo e as plantas, pois esses fatores são os principais influenciadores da presença e atividade dos FMA. Foram avaliadas a atividade e a diversidade de espécies de FMA em gradiente ambiental (edáfico e vegetacional) na Caatinga. O gradiente é composto por floresta úmida (componente botânico dos brejos de altitude), zona transicional e floresta seca (caatinga), localizadas em Carro Quebrado, no Município de Triunfo-PE. Em cada local foram coletadas dez amostras de solo e raízes nos dois períodos (chuvoso e seco) e determinados: a densidade de glomerosporos, o número mais provável (NMP) de propágulos infectivos, a colonização micorrízica dos vegetais, as proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG), a composição e diversidade de espécies de FMA. A floresta seca diferiu das outras áreas para a maioria dos atributos do solo, densidade de glomerosporos, NMP de propágulos infectivos de FMA e PSRG. A atividade dos FMA, representada pela densidade de glomerosporos, colonização micorrízica, NMP de propágulos infectivos e PSRG, diferiu entre as três áreas e os dois períodos de coleta. Forte correlação entre a atividade dos FMA e o solo foi detectada, com os atributos edáficos explicando 96% da variância dos dados. Foram identificadas 51 espécies de FMA, com maior riqueza (41) e abundância de esporos (1.862) no solo da floresta seca, enquanto maior diversidade de espécies, com base no índice de Shannon, foi registrada na zona transicional (4,4). A composição das comunidades de FMA diferiu entre os períodos de coleta, com maior riqueza e abundância de FMA na estiagem. A estrutura da comunidade de FMA da floresta seca diferiu das demais áreas. Houve forte correlação entre a composição das comunidades de FMA e o solo, com este contribuindo para a explicação de 60% da variância; possivelmente os outros 40% estão relacionados ao tipo vegetacional. Os resultados indicam que o solo é o principal fator que afeta a atividade dos FMA e juntamente com os hospedeiros vegetais influencia a composição das comunidades de FMA nas áreas estudadas.

Palavras-chave: Glomeromycota, FMA, riqueza, índices de diversidade, ecologia, tipos vegetacionais, solo, semiárido.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) benefit plant communities and the edaphic quality, contributing to stability of terrestrial ecosystems. However, ecosystem services provided by AMF depend on the relationship developed with soil and plants because these factors are the main influencers of the presence and the activity of AMF. The activity and diversity of AMF species were investigated in an environmental gradient (edaphic and vegetational) in the Caatinga. The gradient is composed by a moist forest (botanical component of “brejo de altitude”), a transitional zone and a dry forest (caatinga), located in Carro Quebrado, municipality of Triunfo-PE. In each site ten samples of rhizospheric soil were collected in the rainy and dry periods and determined: glomerospores density, the most probable number (MPN) of infective propagules, mycorrhizal colonization, glomalin-related soil protein (GRSP), composition and diversity of AMF species. The dry forest differed from the other areas for most soil attributes, glomerospores density, MPN of infective propagules and GRSP. The activity of AMF, represented by glomerospores density, number of infective propagules, plants mycorrhizal colonization and GRSP, differed among the three sites and the two sampling periods. Strong correlation between the activity of the fungi and soil was detected, with soil attributes explaining 96% of data variance. Fifty one species of AMF were identified, with greater richness (41) and spores abundance (1.862) in the dry forest, while higher species diversity based on the Shannon index occurred in the transitional zone (4.4). The composition of the AMF community differed significantly among sampling periods, with greater richness and abundance of AMF in the dry season. The community structure of AMF of the dry forest was significantly different from the other sites.

There was a strong correlation between the composition of AMF communities and soil, with the contribution of this component explaining 60% of the data variance; possibly the other 40% are related to vegetation type. These results indicate that the soil is the main factor affecting the AMF activity and, together with the host plant, influence the composition of the communities of these fungi in the studied areas.

Key-words: Glomeromycota, AMF, richness, diversity index, ecology, vegetation types, soil, semiarid.

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BA	Brejo de altitude
BSA	Albumina soro bovina
C	Carbono
CH	Chuvoso
CO	Comum
CA	Caatinga
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
cmol _c	Centimol de carga
COL	Colonização
Cu	Cobre
D	Dominante
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
dm ⁻³	Decímetro cúbico
DNS	Diâmetro ao Nível do Solo
E	Estiagem
ESP	Esporo
Fe	Ferro
FMA	Fungos Micorrízicos Arbusculares
FO	Frequência de Ocorrência
FS	Floresta seca
FT	Faixa transicional
FU	Floresta úmida
g	Grama
GFE	Glomalina Facilmente Extraível
GT	Glomalina Total
H	Hidrogênio
ha	Hectare
J'	Índice de equitabilidade de Pielou
Jacknife 1	Índice Jacknife de primeira ordem

K	Potássio
kg	Quilograma
m	Metro
MC	Muito comum
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
min.	Minuto
mM	Milimolar
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
MRPP	Procedimento de permutação de multirespostas
N	Nitrogênio
Na	Sódio
nm	Nanômetro
NMP	Número Mais Provável
NMS	Escalonamento multidimensional não métrico
O	Oeste
P	Fósforo
PSRG	Proteínas do Solo Relacionadas à Glomalina
PVLG	Álcool polivinílico em lactoglicerol
R	Rara
S	Sul
Sobs	Riqueza observada
spp.	Espécies
sp.	Espécie não identificada
V	Saturação por Bases
VI	Valor de indicação
Zn	Zinco
ZT	Zona transicional
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
ρ	Coefficiente de correlação de Spearman

Lista de figuras

Capítulo 4	Pág.
Figura 1. Mapa de Pernambuco mostrando o Município onde foi realizado o estudo..	40
Figura 2. Áreas de estudo: (a) floresta seca, (b) zona transicional e (c) floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	41
Figura 3. Similaridade das espécies de plantas (a) e das espécies de FMA (b), com base no índice de Sørensen, entre as áreas estudadas (Floresta seca - FS, Zona transicional - ZT e Floresta úmida - FU), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	47
Figura 4. Curvas de acumulação espécies de FMA (Sobs) e riqueza estimada com base no índice Jackknife de primeira ordem nas áreas de floresta seca, zona transicional e floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira...	53
Figura 5. Mudanças na composição da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, com base na ordenação NMS, nos solos de floresta úmida, zona transicional e floresta seca, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	54
Capítulo 5	
Figura 1. Precipitação nos anos de 2011 e 2012 no Município de Triunfo-PE.....	62
Figura 2. Áreas de estudo, floresta seca (caatinga) nas estações (a) chuvosa e (b) seca, zona transicional nas estações (c) chuvosa e (d) seca e floresta úmida (brejo de altitude) nas estações (e) chuvosa e (f) seca, no Município de Triunfo-PE.....	63
Figura 3. Número de glomerosporos (a), número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA (b), percentagem de colonização micorrízica de plantas (c), teores de glomalina facilmente extraível (d) e de glomalina total (d) em solos de caatinga, faixa transicional caatinga-brejo e brejo de altitude, gradiente ambiental na localidade de Carro Quebrado, Triunfo-PE.....	70
Figura 4. NMS baseado nos propágulos de FMA e frações de proteínas do solo relacionadas à glomalina correlacionado com os atributos físicos e químicos do solo de caatinga, faixa de transição caatinga-brejo e caatinga, gradiente ambiental, em Triunfo-PE.....	73

Lista de tabelas

Capítulo 2	Pág.
Tabela 1. Classificação atual do Filo Glomeromycota segundo Oehl et al. (2011a), Goto et al. (2012) e Błaszowski & Chwat (2013).....	21
Tabela 2. Distribuição de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica.....	33
Capítulo 3	
Tabela 1. Altitude e localização geográfica das áreas de estudo: floresta seca, zona transicional e floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira...	41
Tabela 2. Propriedades químicas e físicas do solo na floresta seca (FS), zona transicional (ZT) e floresta úmida (FU), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	44
Tabela 3. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em uma floresta seca (FS), uma zona transicional (ZT) e uma floresta úmida (FU): gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	49
Tabela 4. Riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, abundância de esporos, índices de diversidade de Shannon e Margalef e índice de equitabilidade de Pielou, em áreas estudadas (floresta seca, zona transicional e floresta úmida), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.....	52
Tabela 5. Coeficientes de correlação entre variáveis do solo e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 5).....	55
Capítulo 4	
Tabela 1. Atributos físicos dos solos de caatinga (floresta seca), faixa transicional e brejo de altitude (floresta úmida), um gradiente ambiental no Município de Triunfo-PE.....	68
Tabela 2. Atributos químicos dos solos de caatinga (floresta seca), faixa transicional e brejo de altitude (floresta úmida), um gradiente ambiental no Município de Triunfo-PE.....	69
Tabela 3. Coeficientes de correlação, com base no coeficiente de Spearman (ρ), entre as variáveis estudadas ($p \leq 0,05$).....	71
Tabela 4. Coeficientes de correlação entre os propágulos de FMA e frações (GFE e GT) de PSRG e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 4).....	74
Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as variáveis do solo e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 4).....	74
Tabela 6. Significância por comparações dos dados de atividade de FMA entre as áreas: caatinga (CA), faixa de transição caatinga-brejo (FT) e brejo de altitude (BA), com base no teste estatístico MRPP.....	75

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. Brejos de altitude – encrave de Mata Atlântica na Caatinga e a formação de gradientes vegetacionais.....	16
2.2. Micorriza arbuscular e o papel dos fungos micorrízicos arbusculares para o funcionamento dos ecossistemas terrestres.....	20
2.3. Métodos para estudo de comunidades de fungos micorrízicos arbusculares.....	24
2.4. Distribuição de espécies e propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica.....	26
2.4.1. Atividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica.....	26
2.4.2. Espécies de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica.....	27
3. DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	38
Resumo.....	38
Introdução.....	38
Materiais e métodos.....	40
Resultados.....	47
Discussão.....	55
4. ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO LONGO DE UM GRADIENTE AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	60
Resumo.....	60
Introdução.....	61
Materiais e métodos.....	62
Resultados.....	67
Discussão.....	75
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICE.....	95

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga ocupa uma área de aproximadamente 825.750 km² e se distribui em 10% do território nacional (MMA, 2007). É constituída por 62% de vegetação nativa, com áreas de caatinga *sensu stricto* predominando em aproximadamente 36% do bioma, áreas de transição ecológica representando 18% e encraves de Cerrado e Mata Atlântica ocupando 8% (MMA, 2011a).

A caatinga *sensu stricto* é caracterizada por vegetação xerófita, composta por plantas que possuem mecanismos para suportar a estação de estiagem, como folhas decíduas, presença de espinhos ou acúleos, órgãos que armazenam água, área foliar reduzida, raízes profundas e são geralmente de baixo porte, atingindo entre 4 a 7 m (Giulietti *et al.*, 2006; Lima *et al.*, 2012).

Os brejos de altitude, encraves de Mata Atlântica na Caatinga, caracterizam-se por apresentar formações vegetais arbóreas e arbustivas, solos com alta umidade e teor de argila, sendo locais de refúgio para espécies típicas da Mata Atlântica (Pôrto *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2008). Esses ecossistemas geralmente são rodeados por áreas de caatinga *sensu stricto* o que propicia a formação de gradientes vegetacionais, de florestas úmidas (vegetação dos brejos) a florestas secas (caatinga *sensu stricto*). Contudo, a devastação torna cada vez mais escassa a presença desse tipo de gradiente.

Considerando a importância da Caatinga como bioma de grande endemismo, pouco estudado, mas bastante impactado, entende-se a necessidade de ampliação de pesquisas sobre a diversidade biológica desse bioma. Entretanto, são escassos estudos sobre os micro-organismos do solo, mesmo sabendo da importância desses para a estabilidade dos ecossistemas.

Dentre esses micro-organismos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) se associam com a maioria das raízes das plantas terrestres (Bonfante & Genre, 2010) promovendo benefícios relevantes para as comunidades vegetais e para o solo (Gianinazzi *et al.*, 2010). As espécies de FMA estão reunidas no filo Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001), constituído por 3 classes, 5 ordens, 15 famílias, 32 gêneros (Oehl *et al.*, 2011a; Goto *et al.*, 2012; Błaszowski & Chwat, 2013) e cerca de 250 espécies.

Expandir o conhecimento sobre a diversidade de espécies levando em consideração os fatores que influenciam a estrutura das comunidades é uma das estratégias para o entendimento da ecologia dos FMA. Vários fatores influenciam a atividade, a riqueza e a

abundância desses fungos, como os atributos do solo (Bressan & Vasconcellos, 2002; Cardoso *et al.*, 2002; Caproni *et al.*, 2003; Moreira & Siqueira, 2006; Borba & Amorim, 2007; Bonfim *et al.*, 2010; Santos & Carrenho, 2011; Carvalho *et al.*, 2012), variações temporais (Mergulhão *et al.*, 2010a) e os fatores bióticos relacionados ao hospedeiro vegetal (Burrows & Pfleger, 2002; Antoninka *et al.*, 2011; Pagano *et al.*, 2011).

Embora estudos ressaltem a influência desses diferentes fatores sobre os FMA, suas conclusões ainda são limitadas porque ou se prendem a fatores abióticos e muitas vezes a poucos parâmetros, ou ao tipo de vegetação. Como alternativa, a realização de pesquisas em locais que apresentam gradientes ambientais podem contribuir para o conhecimento sobre a ecologia de FMA (Antoninka *et al.*, 2011; Mangan *et al.*, 2004).

O principal objetivo desse estudo é ampliar o conhecimento sobre a atividade e a composição de comunidades de FMA em áreas com gradiente vegetacional. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- 1) A atividade e a diversidade de FMA diferem entre áreas com distintos tipos vegetacionais ainda que geograficamente próximas (≤ 50 m);
- 2) O local com maior riqueza de plantas abriga maior riqueza e diversidade de FMA e;
- 3) Variações temporais influenciam os FMA, com maior atividade, riqueza e abundância na estação de estiagem.

Para isso, foram determinadas em cada local: a colonização micorrízica das plantas, as proteínas do solo relacionadas à glomalina, a densidade de glomerosporos, o número mais provável de propágulos infectivos de FMA. Além disso, foram identificadas as espécies e avaliadas as comunidades e a similaridade de espécies de FMA entre as áreas, a riqueza vegetal e os atributos edáficos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Brejos de altitude – encrave de Mata Atlântica na Caatinga e a formação de gradientes vegetacionais

O Brasil destaca-se entre os países megadiversos por abrigar de 15% a 20% de 1,5 milhão de espécies descritas no planeta e possuir a maior extensão de florestas tropicais, o equivalente a 1/3 das florestas tropicais do mundo, onde a maior floresta é a Amazônica e em segundo lugar a Floresta Atlântica (MMA, 2002). Essa biodiversidade é fruto de uma vasta extensão territorial (851 milhões de ha), com diferentes condições geográficas e climáticas que delimitam diferentes biomas, onde se encontram grande diversidade de espécies e certo grau de endemismo (Ayres *et al.*, 2005; MMA, 2010).

Os biomas compreendem ecossistemas que apresentam fitofisionomias próprias, adaptadas às condições edafoclimáticas dos locais onde estão inseridos e no território brasileiro sete biomas estão representados: Amazônia, Cerrado, Pantanal, Pampas, Zona Costeira, Mata Atlântica e Caatinga (MMA, 2006).

A Floresta Atlântica ocupa 1,4% da superfície do planeta, abriga 44% das espécies de plantas vasculares e 35% de todas as espécies de vertebrados, constituindo um dos 25 hotspots de preservação por apresentar grande endemismo e encontrar-se em ritmo acelerado de devastação (Myers *et al.*, 2000). Esse bioma prolonga-se ao longo de toda a costa leste do país, de 07°S a 23°S, constituído por um mosaico de fisionomias (Rodal *et al.*, 2005), em áreas onde as condições geoclimáticas favorecem a manutenção de vários tipos vegetacionais. Caracteriza-se por apresentar precipitação variando de 1.800 a 3.600 mm/ano, solo geralmente raso com fertilidade de intermediária a baixa e alto teor de matéria orgânica (Zangaro & Moreira, 2010).

Inicialmente a Floresta Atlântica ocupava aproximadamente 16% do território nacional, distribuindo-se no litoral desde o Rio Grande do Sul até o Piauí (MMA, 2011b). Contudo, a devastação exacerbada desse bioma resultou na fragmentação vegetal e atualmente só é possível encontrar 7% da sua cobertura original, e em alguns estados como Ceará e Piauí não são encontrados mais resquícios dessa floresta (Zangaro & Moreira, 2010).

A Mata Atlântica possui formações florestais e ecossistemas associados como a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista (ou Mata de Auracárias), Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de

altitude, brejos interioranos e encaves florestais na região Nordeste do país; apresenta a maior diversidade de árvores por unidade de área e 50% das espécies vegetais vasculares endêmicas. Contudo, apenas 3% de locais são protegidos em Unidades de Conservação, que não representam a diversidade de tipos florestais do bioma (MMA, 2007).

A Caatinga também está passando por processos de degradação e atualmente é um dos biomas brasileiros mais ameaçados devido às ações antrópicas (Alencar, 2010). Práticas agropecuárias e desmatamentos são frequentes, degradam os solos e ocasionam processos de desertificação e perda da fertilidade biológica (Velloso *et al.*, 2002; Alencar, 2010). Esse bioma exclusivamente brasileiro, bastante heterogêneo e que ainda necessita de mais estudos, apresenta um número reduzido de áreas destinadas à proteção integral (Tabarelli & Silva, 2002).

A recuperação de áreas degradadas nem sempre é uma tarefa bem sucedida e de rápida resposta. Em estudo realizado em uma área de Caatinga em Petrolina-PE que sofreu corte raso, mas estava em recuperação sem intervenção antrópica por 30 anos, foi observado que a comunidade vegetal ainda encontrava-se em estágio de recuperação (Calixto Júnior & Drumond, 2011). Assim, a baixa taxa de resiliência de alguns locais desse bioma indica a necessidade de se preservar.

A Caatinga fica inserida na região semiárida brasileira e abrange uma área de 825.750 km² que representa 10% do país (MMA, 2007). Esse bioma se distribui ao longo do Nordeste e em uma pequena parte de Minas Gerais (MMA, 2007). Por estar localizada entre o Equador e o Trópico de Capricórnio recebe alta luminosidade que resulta em altas temperaturas, além de apresentar regime pluviométrico limitante e irregular (Sampaio, 2010). Esse bioma caracteriza-se por apresentar solos complexos que variam de arenosos e profundos a rasos e pedregosos (Velloso *et al.*, 2002). As rochas são em sua maioria cristalinas limitando o acesso às águas dos aquíferos subterrâneos (Alencar, 2010).

Os climas áridos e semiáridos são caracterizados com base em índices de precipitação e temperatura (Melo Filho & Souza, 2006). Considerando a pluviosidade até 800 mm anuais, estima-se que as zonas áridas se distribuem em 49 nações e cinco continentes (Melo Filho & Souza, 2006). Contudo o semiárido brasileiro é muito peculiar, pois possui o diferencial da mínima amplitude térmica, com temperatura geralmente variando entre 25 a 30°C.

Dentro dos limites da Caatinga, 62% da vegetação é nativa com grau diferenciado de conservação. Áreas de caatinga *sensu stricto* predominam (representam 36% do bioma),

seguida por áreas de transição ecológica (18%) e encraves de Cerrado e Mata Atlântica ocupam 8% do bioma (MMA, 2011a). A caatinga *sensu stricto* é caracterizada pela presença de xerófitas, plantas que possuem diversos mecanismos para suportar a seca, como folhas decíduas, espinhos ou acúleos, órgãos que armazenam água, área foliar reduzida (microfilia) e que contém ceras. Essas plantas são geralmente de baixo porte atingindo entre 4 a 7 m, possuem raízes profundas e são bastante ramificadas gerando uma abundância de galhos (Giulietti *et al.*, 2006).

A presença de zonas transicionais e encraves de Mata Atlântica e Cerrado na Caatinga é fruto de diferenças climáticas, já que ocorre uma relação íntima entre clima e vegetação (Pillar, 1995; Coutinho, 2006). As faixas climáticas são condicionadas pelo grau de radiação solar, que influencia a temperatura, os movimentos do ar e a disponibilidade hídrica para os vegetais (Pillar, 1995).

Além de influenciar a vegetação, o clima também atua nos processos formadores do solo como intemperismo da rocha matriz e transporte de nutrientes (Pillar, 1995). Em trabalho de caracterização de solos ao longo de um gradiente altitudinal cobrindo três municípios de Pernambuco (Serra Talhada - na porção inferior, Santa Cruz da Baixa Verde, na porção média e Triunfo, na porção alta) foi observado que à medida que aumentava a altitude havia um acréscimo no teor de argila no solo e diminuição do teor de areia (Souza *et al.*, 2010). Thomas *et al.* (2009) constataram que além do clima, a orografia e o solo influenciam a comunidade vegetal. Esses parâmetros citados contribuem para que em algumas serras no Nordeste, principalmente no planalto da Borborema, ocorra uma transição da vegetação de caatinga por matas serranas (MMA, 2010).

As matas serranas fazem parte dos ecossistemas brejos de altitude, que graças às características orográficas, climáticas e biológicas são associados ao bioma Mata Atlântica (Rodrigues *et al.*, 2008), embora encontrem-se inseridos na Caatinga (Tabarelli & Santos, 2004). Os brejos de altitude são encontrados em áreas com altitudes superiores a 600 m onde o mesoclima varia de úmido a subúmido, a precipitação anual oscila entre 900-1300 mm, os solos geralmente são profundos, argilosos e apresentam elevado teor de água disponível (Theulen, 2004). Diferentemente das áreas de caatinga circundante, os solos dos brejos de altitude apresentam menor evapotranspiração, contribuindo para que os vegetais locais obtenham maior aporte hídrico (Sousa *et al.*, 2004).

Com relação à origem dessas áreas, acredita-se que surgiram em consequência de variações climáticas ocorridas durante o Pleistoceno (Andrade-Lima, 1982 apud Pôrto *et*

al., 2004), as quais possibilitaram que áreas de Floresta Atlântica invadissem os domínios secos da Caatinga; após períodos interglaciais, fragmentos desta floresta permaneceram em locais com clima adequado a esse tipo vegetacional (Tabarelli & Santos, 2004).

Os brejos de altitude são áreas de refúgio dentro do semiárido para espécies vegetais e/ou animais típicos de Mata Atlântica (Andrade-Lima, 1982 apud Rosa & Groth, 2004). Estes ecossistemas estão passando por processos de degradação que ocasionam perda de habitat e fragmentação das áreas, diminuindo ainda mais o percentual da Floresta Atlântica brasileira (Cavalcanti & Tabarelli, 2004; Tabarelli & Santos, 2004).

Cerca de 16.000 km² da vegetação dos brejos nordestinos já foram destruídos e atualmente existe pouco mais de 2.500 km² de áreas de brejo no Nordeste (Tabarelli & Santos, 2004), o que significa que muito da diversidade biológica dessas áreas foi perdida antes de ser conhecida; casos não se estabeleçam políticas efetivas de preservação, essas áreas desaparecerão por completo.

A continuidade de pesquisas em brejos de altitude é necessária considerando as notáveis diferenças fisionômicas entre esses ecossistemas, devido às diversas condições de umidade e temperatura (Lima, 2007). Além disso, a maior parte dos estudos é direcionada ao conhecimento botânico (Rodal *et al.*, 2005; Andrade *et al.*, 2006; Lopes *et al.*, 2007; Nascimento & Rodal, 2008; Pereira *et al.*, 2010), enquanto as outras áreas do conhecimento permanecem com lacunas, subestimando a diversidade de espécies desses locais.

Um aspecto muito questionado sobre os brejos de altitude é se essas áreas realmente são associadas com a Mata Atlântica ou se pertencem à Caatinga devido ao tempo em que estão inseridos nesse bioma, serem rodeadas por essa vegetação e sofrerem influência do clima semiárido. Com base em análises florísticas, Rodal *et al.* (2008) concluíram que embora os brejos interioranos compartilhem algumas espécies com a Floresta Atlântica apresentam maior conexão florística com a Caatinga. Contudo, as leis do Brasil ainda reconhecem esses ecossistemas como encaves de Mata Atlântica (Rodal *et al.*, 2008). Nesse sentido, mais estudos, incluindo locais ainda não estudados, os outros componentes da biodiversidade e as relações que contribuem para o funcionamento adequado desses ecossistemas podem fornecer mais esclarecimentos sobre qual bioma esses locais devem ser associados.

2.2. Micorriza arbuscular e o papel dos fungos micorrízicos arbusculares para o funcionamento dos ecossistemas terrestres

Micorrizas são associações mutualísticas formadas entre fungos e raízes vegetais. Essas associações são moduladas pelos fungos envolvidos, plantas hospedeiras e condições edáficas (Brundrett, 1991), com o macro e o microsimbionte conseguindo detectar as mínimas variações de recebimento de recursos nutricionais, levando o parceiro a responder com maior ou menor disponibilização de nutrientes (Kiers *et al.*, 2011).

Os fungos micorrízicos ocorrem em diversas áreas desde faixas boreais e alpinas, a florestas tropicais, pastagens e cultivos (Bonfante & Genre, 2010). A simbiose entre esses fungos e as raízes das plantas é essencial para a manutenção das comunidades vegetais, influenciando a organização das espécies, a diversidade e a estabilidade dessas comunidades e contribuindo para o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Johnson & Gehring, 2007; Finlay, 2008).

Dentre os benefícios promovidos pelos fungos micorrízicos, maior aporte de nutrientes e água para os hospedeiros são os principais, promovidos graças ao micélio extrarradicular, constituído por hifas finas que se estendem além da zona radicular e penetram diferentes microsítios do solo (Finlay, 2008), fornecendo maior recurso nutricional às plantas que, em troca, proveem carboidratos essenciais ao desenvolvimento do fungo.

As micorrizas podem ser classificadas em diferentes tipos: ectomicorriza, ectendomicorriza, ericóide, monotrópide, orquidóide, arbuscular e arbutóide, com base nos hospedeiros vegetais, nos fungos associados e nas estruturas formadas intra e/ou intercelularmente nas raízes dos hospedeiros (Smith & Read, 2008).

Dentre os tipos citados, a micorriza arbuscular, a mais prevalente no mundo (Smith & Read, 2008), é formada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com diferentes espécies de Briófitas, Pteridófitas, Gimnospermas e Angiospermas. Todos os FMA estão classificados entre os Glomeromycota e atualmente, com base na congruência de dados morfológicos e moleculares, compreendem 3 classes, 5 ordens, 15 famílias, 32 gêneros (Oehl *et al.*, 2011a; Goto *et al.*, 2012; Błaszowski & Chwat, 2013) e cerca de 250 espécies (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação atual do Filo Glomeromycota segundo Oehl *et al.* (2011a), Goto *et al.* (2012) e Błaszkowski & Chwat (2013).

Classes (3)	Ordens (5)	Famílias (15)	Gêneros (31)
Paraglomeromycetes	Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>
		Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i> <i>Intraspora</i>
Archaeosporomycetes	Archaeosporales	Geosiphonaceae*	<i>Geosiphon</i> *
		Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>
		Glomeraceae	<i>Glomus</i> <i>Septoglomus</i> <i>Funneliformes</i> <i>Simiglomus</i>
Glomeromycetes	Glomerales	Entrophosporaceae (=Claroideoglomeraceae)	<i>Albahypha</i> <i>Entrophospora</i> <i>Claroideoglomus</i> <i>Viscospora</i>
		Racocetraceae	<i>Racocetra</i> <i>Cetraspota</i>
		Dentiscutataceae	<i>Fuscutata</i> <i>Quatunica</i> <i>Dentiscutata</i>
	Gigasporales	Intraornatosporaceae	<i>Paradentiscutata</i> <i>Intraornatospora</i>
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
		Scutellosporaceae	<i>Scutellospora</i> <i>Orbispora</i>
		Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
		Sacculosporaceae	<i>Sacculospora</i>
	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i> <i>Kuklospora</i>
			<i>Redeckera</i> <i>Corymbiglomus</i>
		Diversisporaceae	<i>Diversispora</i> <i>Otospora</i> <i>Tricispora</i>

*não forma simbiose micorrízica com plantas (de Souza *et al.*, 2010).

A micorriza arbuscular é uma das mais importantes simbioses pelos benefícios promovidos às plantas, pelo fato de a maioria dos vegetais (mais de 80% das plantas terrestres) formar essa simbiose e por se tratar de uma associação largamente distribuída no planeta (Bonfante & Genre, 2010). Também é o tipo de micorriza mais antigo na natureza uma vez que foram descobertas estruturas similares aos arbúsculos em *Aglaophyton major*, plantas terrestres do início do Devoniano, fornecendo evidências de que datam pelo menos de 400 milhões de anos (Das & Varma, 2009).

Essa associação é caracterizada pela formação, pelo fungo, de micélio interno e extrarradicular (responsável pela absorção de nutrientes do solo) e de arbúsculos, sítios de troca entre simbionte e hospedeiro que apresentam vida útil entre 4 a 5 dias, no interior da célula vegetal (Smith & Read, 2008; Bonfante & Genre, 2010). Além de arbúsculos, certos

grupos de FMA formam vesículas intra ou intercelularmente nas células radiculares dos vegetais, com função de armazenamento (Smith & Read, 2008). Algumas espécies também produzem células auxiliares, as quais são formadas no exterior das raízes, apresentam função de armazenamento, servindo, possivelmente, para a formação e desenvolvimento dos esporos, produção de micélio e/ou recuperação do mesmo (de Souza & Declerck, 2003). Como elemento básico de propagação os FMA formam glomerosporos, no interior ou exterior das raízes (Goto & Maia, 2006) que são propágulos altamente resistentes a condições adversas ambientais e também são eficazes para colonização, persistência e propagação das comunidades de FMA (Wu *et al.*, 2007).

Os FMA se associam com espécies nativas e cultivadas, beneficiando seus hospedeiros de inúmeras formas, principalmente pela absorção de nutrientes e água e aumento da resistência a estresses ambientais (Das & Varma, 2009; Bonfante & Genre, 2010; Wurst *et al.*, 2011). Contribuem para maior produtividade dos cultivos (Gianinazzi *et al.*, 2010) e protegem as plantas contra patógenos (Maia *et al.*, 2005; Sikes, 2010; Sousa *et al.*, 2010), o que favorece a diminuição do uso de produtos químicos como fertilizantes e agrotóxicos. A proteção aos vegetais é um dos serviços ecossistêmicos mais relevantes para a sustentabilidade agrícola e, juntamente com o melhoramento vegetal, pode ser uma ótima alternativa para o fim do uso de pesticidas (Gianinazzi *et al.*, 2010).

A razão pelo qual as plantas micorizadas são mais protegidas contra patógenos ainda não está totalmente esclarecida. Acredita-se que essa bioproteção possa estar relacionada à melhoria do estado nutricional e maior vigor ou à resposta de defesa que os FMA podem induzir (Parniske, 2008).

Outro serviço ecossistêmico prestado pelos FMA é a agregação das partículas do solo que ocorre por meio da ação física das hifas ou da produção de uma glicoproteína denominada glomalina que também contribui para a estocagem de carbono no solo (Sousa *et al.*, 2012). Esses fungos também induzem nos hospedeiros maior resistência à seca (Maia *et al.*, 2010), à salinidade (Yano-Melo *et al.*, 2003) e/ou à presença de metais pesados no solo (Gianinazzi *et al.*, 2010). Em locais contaminados, os FMA conseguem atuar como redutores da translocação dos metais pesados do solo para a parte aérea da planta favorecendo a manutenção vegetal em ambientes estressantes (Leyval *et al.*, 2002).

Os benefícios promovidos por esses fungos dependem da presença dos FMA nos locais e da relação desses fungos com os hospedeiros vegetais e as condições edáficas. Em áreas que apresentam baixa disponibilidade de nutrientes os benefícios dos FMA são mais

proeminentes (Parniske, 2008), uma vez que para o recebimento de fotoassimilados, esses fungos transferem nutrientes para a planta (Kiers *et al.*, 2011) e se a planta tem fácil acesso ao nutriente não é necessário investimento na simbiose, desde que não seja micotrófica obrigatória.

Um dos nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal é o fósforo, que nem sempre se encontra disponível (Smith & Smith, 2012). A forma mais comumente absorvida pelos vegetais é o ortofosfato; contudo, em solos que apresentam elevado pH ocorre reação do fósforo com o cálcio, e quando em pH muito ácido reage com ferro e alumínio, resultando em baixa disponibilidade para as plantas (Smith & Smith, 2012). Nesse caso, a associação torna-se uma ótima estratégia para que as plantas tenham acesso a esse elemento. E esse acesso promovido pelos FMA ocorre graças a mecanismos físicos, como a fina espessura das hifas, e o fato de se estenderem em longas distâncias na rizosfera e mecanismos químicos relacionados à diferença entre a membrana do fungo e do vegetal (Finlay, 2004).

Embora não apresentem especificidade hospedeira, os estudos têm demonstrado que ocorrem preferências desses fungos por determinados hospedeiros e condições ambientais, o que de acordo com Gai *et al.* (2006) está relacionado aos fatores ecológicos locais e ao histórico regional. Diante disso, é necessário que os estudos considerem a influência dos diversos fatores que influenciam a relação fungo-planta para a aplicação de isolados mais eficazes na restauração de locais impactados e/ou maior produtividade de vegetais economicamente importantes, justificando a necessidade de mais pesquisas, em diferentes condições, para maior conhecimento da estrutura das comunidades de FMA.

Alguns trabalhos apontam a influência da vegetação e das condições edafoclimáticas na distribuição desses fungos (Zubek *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2011a). Em uma área semiárida no norte da Jordânia, Mohammad *et al.* (2003) concluíram que as espécies de FMA foram mais afetadas pelos fatores abióticos do que pelos bióticos, como os hospedeiros.

Além da influência do solo, a variação nos benefícios promovidos pelos FMA às diversas espécies vegetais também está relacionada às preferências de hospedeiro. Limitação da dispersão, fatores ambientais e hospedeiro vegetal contribuíram para alta variabilidade de FMA entre locais amostrados por Kivlin *et al.* (2011); além disso, a variação espacial na comunidade vegetal influenciou a estrutura da comunidade de FMA. De acordo com Burrows & Pfleger (2002), o aumento da diversidade vegetal pode

favorecer o aumento da comunidade e diversidade de FMA considerando que vegetais diferentes poderão dar suporte a comunidades particulares de respectivos simbiontes.

Embora os trabalhos venham ressaltando esses diferentes fatores atuantes nas comunidades de FMA, suas conclusões não fornecem dados sobre a ecologia desses fungos porque se prendem ora aos fatores abióticos, muitas vezes usando poucos parâmetros, ora aos bióticos. Contudo, para o real entendimento da ecologia dos FMA devem ser igualmente considerados os vários aspectos que atuam sobre esses fungos. Essas informações retratam a importância de estudos em locais que apresentem gradientes ambientais (Antoninka *et al.*, 2011) e que procure relacionar os diversos fatores influenciadores. Contudo, de acordo com Mangan *et al.* (2004), poucas pesquisas são direcionadas à determinação de mudanças na estrutura da comunidade de FMA utilizando esses tipos de gradientes.

Exemplos de trabalhos utilizando gradientes altitudinais foram realizados por Lugo *et al.* (2008) e Zubek *et al.* (2009). No primeiro caso, a diversidade de FMA diminuiu com aumento da altitude; no segundo foi observado que tipo de solo, hospedeiros e composição da comunidade de hospedeiros são importantes para a colonização dos vegetais por FMA.

Nos Alpes Suíços foi detectada sucessões de comunidades de FMA relacionada ao aumento de altitude (Oehl *et al.*, 2012) e foi possível observar grande diversidade de FMA em altitudes variando entre 1000–3000 m acima do nível do mar (Oehl *et al.*, 2006). Esse estudo possibilitou registro de novas espécies para a literatura (Oehl *et al.*, 2006, 2011b, 2012) e destaque de espécies de *Acaulospora* em áreas de elevadas altitudes em relação as terras baixas da Suíça (Oehl *et al.*, 2006).

Avaliando as mudanças do carbono orgânico, nitrogênio total e FMA no solo (com base na densidade de glomerosporos e colonização micorrízica) ao longo de um gradiente de aridez, na China, Yang *et al.* (2011b) observaram o declínio de todos esses fatores. Os autores relacionaram os resultados obtidos ao aumento da aridez, assim, o fator climático foi o principal influenciador da abundância de FMA.

2.3. Métodos para estudo de comunidades de fungos micorrízicos arbusculares

Os estudos ecológicos com FMA em geral avaliam a abundância e a atividade desses fungos pela determinação da colonização micorrízica, número de glomerosporos, produção de glomalina, identificação das espécies e infectividade dos propágulos,

relacionando-os à vegetação e ao solo onde foram encontrados (Purin & Rillig, 2007; Wu *et al.*, 2007; Aguiar *et al.*, 2008; Sánchez-Castro *et al.*, 2012).

Os glomerosporos são importantes propágulos produzidos pelos FMA que indicam uma colonização eficiente. Os caracteres morfológicos dos glomerosporos são frequentemente utilizados para a identificação das espécies (Mergulhão *et al.*, 2010a; Carvalho *et al.*, 2012; Stürmer *et al.*, 2013); assim, a quantificação dos esporos fornece uma estimativa das populações de FMA presentes nos ecossistemas (Burrows & Pfleger, 2002; Mohammad *et al.*, 2003).

A identificação dos FMA é importante para determinação da diversidade e a relação das espécies, contribuindo para melhor entendimento da ecologia desses micro-organismos (Wu *et al.*, 2007; Rosendahl, 2008). Além dos caracteres morfológicos, ferramentas moleculares também podem ser utilizadas para identificação de táxons de Glomeromycota (de Souza *et al.*, 2004; Kivlin *et al.*, 2011; Novais *et al.*, 2010).

A glomalina é uma glicoproteína produzida exclusivamente por FMA. Devido aos problemas referentes à sua extração, pois até hoje não se conseguiu extrair apenas a glomalina do solo, as pesquisas mencionam a quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG).

Algumas modificações durante a extração possibilitam o acesso a diferentes frações de PSRG: a fração facilmente extraída é a mais recentemente liberada das hifas e esporos; a total é referente ao conjunto das mais antigas (recalcitrantes) e das mais recentes (Wright & Upadhyaya, 1998). Uma vez que a quantidade de glomalina varia de acordo com o tipo de ecossistema, influenciada por condições edáficas, conhecer a dinâmica de produção e acúmulo dessa glicoproteína é relevante para maior conhecimento sobre os FMA e seus produtos (Lovelock *et al.*, 2004; Hammer & Rillig, 2011). Dos benefícios mais conhecidos relacionados à produção de glomalina, o aumento da agregação do solo é um dos mais citados. Maior agregação do solo é importante para aumento do crescimento vegetal e redução da erosão do solo (Barto *et al.*, 2010).

Uma vez que a quantidade de glomerosporos não representa a estimativa real de infectividade porque esses propágulos podem estar degradados ou em estágio de dormência, a utilização de bioensaios referentes ao número mais provável de propágulos infectivos é uma forma de saber o potencial de infectividade de FMA nos solos estudados. A partir da infectividade a colonização pode ser estabelecida, com a consequente troca nutricional entre o fungo e a planta (Smith & Read, 2008).

A utilização de diferentes métodos é importante para o conhecimento das espécies e da atividade dos FMA. Considerando que esses fungos são influenciados pelos atributos ambientais, relacionar a diversidade e a atividade com as características locais é uma forma de saber como os FMA se comportam em diversos ecossistemas.

2.4. Distribuição de espécies e propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica

2.4.1. Atividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica

Os resultados apresentados neste tópico referem-se aos resultados encontrados em áreas naturais com vegetação de Caatinga e de Mata Atlântica, no Brasil.

Com base em uma revisão realizada por Maia *et al.* (2010), foi evidenciado que de 67 espécies de plantas típicas da Caatinga, 87% apresentavam-se colonizadas por FMA. A associação micorrízica deve constituir uma das estratégias das plantas desse bioma para suportar as condições de limitação hídrica; contudo, mesmo a maioria das espécies vegetais se associando a FMA, a percentagem de colonização micorrízica geralmente é inferior a 50% (Maia *et al.*, 2010).

Em áreas de Mata Atlântica, Zangaro & Moreira (2010) constataram que de 190 espécies vegetais avaliadas, 90% encontravam-se colonizadas por FMA, com espécies de fases iniciais de sucessão apresentando-se mais colonizadas do que aquelas de fases tardias e clímax; a necessidade da associação micorrízica para ajudar no estabelecimento das plantas justifica maior micorrização em plantas de fases iniciais de sucessão. Plantas da Mata Atlântica apresentam colonização micorrízica variando de 12 a 69% (Zangaro & Moreira, 2010) e essa grande variação registrada em plantas de um mesmo bioma é fruto de várias características, como a influência do solo, do FMA envolvido, da idade e da fisiologia da planta.

A densidade de glomerosporos varia de 1,63 a 1.100 em 100 g de solo em áreas de Mata Atlântica (Zangaro & Moreira, 2010) e de 0 a 1.000 glomerosporos em 100 g de solo, com média de 390 glomerosporos 100 g de solo, em áreas de Caatinga (Maia *et al.*, 2010). Geralmente, maior densidade de esporos de FMA no semiárido brasileiro é recuperada na estação seca (Ferreira, 2011; Perlatti, 2010; Silva *et al.*, 2001a; Souza *et al.*, 2003), com exceção do registrado no semiárido do Piauí (Cardozo Júnior, 2010) e de Pernambuco

(Mergulhão *et al.*, 2007), onde maior quantidade de glomerosporos foi registrada na estação chuvosa. A disponibilidade de água no solo é um importante fator na composição e funcionamento da relação planta-FMA (Lugo *et al.*, 2005) e, geralmente, a menor umidade do solo favorece a esporulação; à medida em que ocorre aumento da umidade os glomerosporos germinam e colonizam as raízes.

O número mais provável de propágulos infectivos de FMA em solos de Caatinga varia de 5,1 a 540 propágulos em 100 g de solo, com maior quantidade observada na estação de estiagem (Silva *et al.*, 2001a; Mergulhão *et al.*, 2007). Informações sobre a quantidade de propágulos de FMA em solos de Mata Atlântica são escassas; dados sobre esses propágulos foram registrados por Melo (2004), os quais observaram grande variação em área de Mata Atlântica em Pernambuco (62 a >2.400 propágulos cm⁻³ de solo) e em Alagoas (4,5 a > 2.400 propágulos cm⁻³ de solo).

Assim como os propágulos de FMA, a produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina é influenciada pelo grau de fertilidade do solo, hospedeiro e espécie de FMA (Purin & Klauberg Filho, 2010). Em áreas de Caatinga ocorre uma variação de 0,07 a 4,2 mg de glomalina g⁻¹ de solo (Cardozo Júnior, 2010; Mergulhão *et al.*, 2010b; Sousa *et al.*, 2011), enquanto em áreas de Mata Atlântica foram registrados de 0,9 a 5,6 mg de glomalina g⁻¹ de solo (Freitas, 2010; Silva, 2010).

2.4.2. Espécies de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica

Das espécies de FMA atualmente descritas no mundo (265), 119 táxons já foram registrados para o Brasil (de Souza *et al.*, 2010), o que equivale a 46% da diversidade de FMA do planeta (Tabela 2.4). Dessas, 79 foram recuperadas em solos da Caatinga (Goto *et al.*, 2010a), com 56 registradas em áreas nativas desse bioma (Maia *et al.*, 2010). Os trabalhos revelam uma riqueza de espécies de FMA significativa: em duas coletas (períodos seco e chuvoso) foram recuperadas 31 espécies de FMA em Araripina-PE (Mergulhão *et al.*, 2010a), 43 espécies em Caruaru-PE (Ferreira, 2011) e 21 espécies no Ceará (Perlatti, 2010). Considerando apenas um período de amostragem foi possível registrar 16 espécies de FMA em Triunfo-PE (Mello, 2012).

Para a Mata Atlântica, são reconhecidas 78 espécies de FMA (Zangaro & Moreira, 2010). Levando-se em consideração apenas uma amostragem, foram recuperadas seis espécies de FMA em Mata Atlântica no Rio de Janeiro (Souchie *et al.*, 2006), 17 espécies

em Pernambuco (Melo, 2004), 35 espécies na Bahia (Alves, 2004), e 11 táxons em área de Floresta Serrana na Paraíba (Aguiar *et al.*, 2008). Em outra área de Pernambuco foram registradas 20 espécies de FMA a partir de quatro coletas (Freitas, 2010).

Representantes de *Acaulospora* e *Glomus* destacam-se nos solos da Caatinga (Maia *et al.*, 2010; Mergulhão *et al.*, 2010a; Ferreira, 2011; Mello, 2012) e da Mata Atlântica (Alves, 2004; Melo, 2004; Souchie *et al.*, 2006; Aguiar *et al.*, 2008; Zangaro & Moreira, 2010). De acordo com Gai *et al.* (2006), espécies de *Glomus* são largamente distribuídas desde áreas temperadas a subtropicais e tropicais, apresentando alta frequência de ocorrência e elevada abundância de esporulação quando comparados a espécies dos outros gêneros de Glomeromycota.

Outros aspectos favorecem a predominância de *Glomus* e *Acaulospora*, como o maior número de espécies descritas, 88 e 41 respectivamente, adaptação a ampla faixa de pH (Maia & Trufem, 1990), diferentes propágulos atuarem na colonização e apresentarem infectividade mais rápida quando comparado com representantes, por exemplo, de Gigasporales (Hart & Reader, 2002). Esse último argumento deve ser levado em consideração quando se utiliza a técnica de cultura armadilha por apenas um ciclo, pois pode favorecer o aparecimento de espécies com estratégias de colonização mais rápidas, tal como ocorre com os tipos glomóides, subestimando a diversidade de FMA presente no ambiente (Hart & Reader, 2002). No entanto, ciclos sucessivos possibilitam a detecção de espécies com estratégias de colonização mais lentas.

Embora espécies de *Acaulospora* e *Glomus* apresentem ampla distribuição, a ocorrência e a abundância de espécies desses gêneros são distintas em áreas de um mesmo bioma (Souza *et al.*, 2003); isso pode ser relacionado ao mencionado por Yang *et al.* (2012) que, com base em estudo sobre a biogeografia de FMA em escala global, concluíram que os FMA são cosmopolitas em nível genérico ou em níveis taxonômicos elevados, enquanto ao nível específico apresentam limitada distribuição associada, entre outros fatores, ao hospedeiro vegetal e habitat.

O gênero *Acaulospora* apresenta 41 espécies conhecidas e dessas 18 foram registradas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica. *Acaulospora scrobiculata* é a espécie com maior distribuição nesses biomas, seguida por *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. spinosa*, *A. tuberculata*, *A. longula* e *A. rehmi* (Tabela 2). Segundo estudo de Souza *et al.* (2010), *A. mellea*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa* e *A. tuberculata* apresentam ampla distribuição no Brasil, parecendo não serem afetadas pelos distintos fatores geográficos, enquanto que *A.*

rehmii e *A. morrowiae* são influenciadas pela localização geográfica. De acordo com Moreira & Siqueira (2006), *A. longula* apresenta frequência de ocorrência intermediária.

São conhecidas onze espécies de *Ambispora* e dessas quatro foram registradas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica, com *A. appendicula* e *A. leptoticha* apresentando maior distribuição. Nessa revisão foi evidenciada maior ocorrência de *A. appendicula* em áreas de Caatinga do que de Mata Atlântica, porém essa espécie é considerada de ampla distribuição no Brasil (Moreira & Siqueira, 2006; de Souza *et al.*, 2010).

Das três espécies de *Archaeospora*, apenas uma (*A. trappei*) foi registrada em Mata Atlântica, não sendo o gênero referido para áreas naturais de Caatinga (Tabela 2). *A. trappei* foi descrita a partir de solos coletados de campos com *Lolium longiflorum* Thunb. no Oregon e em áreas costeiras da Califórnia; a espécie é adaptada a diversas condições edáficas, apresenta ampla distribuição e foi identificada desde áreas de dunas a ecossistemas florestais (Blaskowski, 2012).

Seis espécies do gênero *Cetraspora* são conhecidas (Silva *et al.*, 2013) e *C. pellucida* é a de maior ocorrência em áreas de Caatinga e Mata Atlântica. No levantamento realizado (Tabela 2) essa espécie foi mais registrada em áreas de Caatinga do que de Mata, mas segundo relatos de Moreira & Siqueira (2006) e de Souza *et al.* (2010), apresenta grande amplitude geográfica no Brasil.

Das cinco espécies de *Claroideoglossum*, quatro foram registradas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica; entre essas, *C. etunicatum* é a de maior ocorrência nesses biomas. De acordo com de Souza *et al.* (2010), essa espécie está amplamente distribuída nos ecossistemas brasileiros.

O gênero *Corymbiglossum* tem três espécies (Błaszowski & Chwat, 2013) e dessas duas (*C. globiferum* e *C. tortuosum*) já foram registradas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica (Tabela 2).

Há nove espécies de *Dentiscutata* descritas (Silva *et al.*, 2013), das quais sete ocorrem em ecossistemas naturais de Mata Atlântica e Caatinga (Tabela 2). *Dentiscutata colliculosa* foi descrita a partir de solos coletados em área de duna, na Paraíba, e de Caatinga, em Pernambuco (Goto *et al.*, 2010b), enquanto *D. nigra* e *D. reticulata* ainda não foram identificadas em ecossistemas da Caatinga.

Diversispora apresenta 14 espécies descritas e dessas apenas três foram identificadas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica. No Brasil, *Diversispora eburnea* só

foi registrada na Caatinga, enquanto *D. versiformis* apenas em áreas de Mata Atlântica (Tabela 2).

Entrophospora infrequens, única representante do gênero, foi detectada em ecossistemas dos dois biomas considerados nesse levantamento (Tabela 2).

Das 15 espécies conhecidas de *Funneliformis*, quatro foram registradas em áreas de Caatinga e de Mata Atlântica. *Funneliformis geosporus* é a espécie mais citada, seguida por *F. halonatus* e *F. mosseae*; aparentemente *F. halonatus* está mais distribuída em áreas de Caatinga, enquanto as outras duas espécies se distribuem igualmente nos dois biomas (Tabela 2). Segundo de Souza *et al.* (2010), *F. geosporus* tem ampla distribuição geográfica no Brasil.

Fuscutata apresenta cinco espécies (Silva *et al.*, 2013) e dessas *F. heterogama* foi detectada nos dois biomas considerados, enquanto *F. savannicola* só foi registrada em área natural de Caatinga (Ferreira, 2011).

Das oito espécies conhecidas de *Gigaspora* (Silva *et al.*, 2013), seis foram registradas em áreas de Caatinga e Mata Atlântica, sendo *G. decipiens*, *G. margarita* e *G. gigantea* as de maior distribuição (Tabela 2). Essas espécies apresentam alta frequência de ocorrência nos ecossistemas brasileiros, sendo classificadas como generalistas (Moreira & Siqueira, 2006).

Das 88 espécies registradas de *Glomus*, 27 foram identificadas em Caatinga e Mata Atlântica, com *G. macrocarpum* apresentando maior ocorrência. Outras espécies comumente encontradas são: *G. clavispurum*, *G. sinuosum*, *G. microcarpum*, *G. coremioides*, *G. invermaium*, *G. microaggregatum*, *G. glomerulatum* e *G. ambisporum*. De acordo com de Souza *et al.* (2010), *G. macrocarpum* e *G. sinuosum* apresentam ampla distribuição no Brasil e *G. invermaium* é influenciado pelas condições geográficas. *Glomus coremioides* foi classificado como de ocorrência intermediária em ecossistemas brasileiros (Moreira & Siqueira, 2006).

Intraornatospora, gênero monoespecífico (*I. intraornata*) (Silva *et al.*, 2013), foi descrito a partir de solos coletados em áreas de Caatinga, em Pernambuco e de dunas, na Paraíba (Goto *et al.*, 2009), não havendo relatos de ocorrência em outros locais.

O gênero *Kuklospora* é monoespecífico representado por *K. colombiana* que é uma espécie generalista (Moreira & Siqueira, 2006).

Orbispora apresenta duas espécies (Silva et al., 2013), sendo que apenas *O. pernambucana* foi identificada em solos coletados em áreas de Mata Atlântica, em Pernambuco, e de Caatinga, no Maranhão (Silva et al., 2008).

Das sete espécies conhecidas de *Pacispora* (Mello et al., 2013), apenas *P. boliviana* foi registrada em áreas naturais de Caatinga. Já *P. scintillans* até a presente data só foi identificada em ecossistemas da Mata Atlântica (Tabela 2).

Paradentiscutata bahiana foi descrita a partir de coletas em uma área de floresta (brejo de altitude) cercada por Caatinga, na Bahia, enquanto *P. maritima* a partir de coletas em dunas, na Paraíba e Rio Grande do Norte (Goto et al., 2012).

Das oito espécies de *Paraglomus* (Mello et al., 2013), *P. occultum* foi a mais identificada nos dois biomas estudados, apresenta ampla distribuição geográfica, e está classificada como generalista (Moreira & Siqueira, 2006; de Souza et al., 2010).

Das 12 espécies de *Racocetra* (Silva et al., 2013), sete foram relatadas em ecossistemas de Caatinga e de Mata Atlântica; dessas, *R. verrucosa* é a de maior distribuição (Tabela 2).

O gênero *Redeckera* apresenta seis táxons específicos e apenas *R. fulva* foi detectada em ecossistemas de Mata Atlântica (Tabela 2).

Das oito espécies de *Scutellospora* (Silva et al., 2013), três estão presentes em áreas de Caatinga e Mata Atlântica; *S. dipurpurescens* e *S. aurigloba* são as que apresentam maior distribuição. *Scutellospora dipurpurescens* foi mais registrada em áreas de Mata Atlântica do que na Caatinga (Tabela 2) e *S. aurigloba* apresenta frequência de ocorrência intermediária nos ecossistemas brasileiros, de acordo com Moreira & Siqueira (2006).

Sete espécies de *Septoglomus* são conhecidas; dessas, *S. constrictum* foi relatada em áreas de Caatinga e Mata Atlântica, enquanto *S. deserticola* foi identificada apenas em áreas naturais de Mata Atlântica.

Relatos da única espécie de *Simiglomus* (*S. hoi*) em áreas naturais, no Brasil, existem apenas para a Mata Atlântica (Tabela 2).

No geral, áreas naturais de Caatinga e Mata Atlântica abrigam muitas espécies de fungos micorrízicos arbusculares. A ausência de certas espécies em determinados ambientes pode refletir a falta de estudos ou a influência de algum elemento na ocorrência do fungo, considerando que vários fatores afetam a distribuição das espécies. Assim, é importante que os estudos de ocorrência ou de diversidade de fungos procurem caracterizar os fatores bióticos e abióticos que podem estar relacionados à presença das espécies

encontradas, tornando possível ampliar a compreensão sobre a distribuição e a ecologia dos FMA nos ecossistemas.

Tabela 2. Distribuição de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de Caatinga e Mata Atlântica.

Espécies de FMA	Caatinga							Mata Atlântica											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Acaulospora bireticulata</i> F.M. Rothwell & Trappe			x						x									x	
<i>A. colossica</i> P.A. Schultz, Bever & J.B. Morton										x					x				x
<i>A. delicata</i> C. Walker, C.M. Pfeiff. & Bloss 1986			x						x									x	x
<i>A. denticulata</i> Sieverd. & S. Toro 1987			x															x	
<i>A. elegans</i> Trappe & Gerd. 1974							x											x	
<i>A. excavata</i> Ingleby & C. Walker 1994		x	x			x												x	
<i>A. foveata</i> Trappe & Janos 1982		x	x			x			x		x	x		x				x	x
<i>A. kentinensis</i> (C.G. Wu & Y.S. Liu) Oehl & Sieverd.			x															x	
<i>A. koskei</i> Błaszk. 1995			x												x			x	x
<i>A. lacunosa</i> J.B. Morton 1986			x							x								x	
<i>A. laevis</i> Gerd. & Trappe 1974											x							x	x
<i>A. longula</i> Spain & N.C. Schenck 1984		x	x			x						x						x	x
<i>A. mellea</i> Spain & N.C. Schenck 1984	x		x			x	x			x	x	x		x			x	x	x
<i>A. morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck 1984	x	x	x		x				x		x	x			x			x	x
<i>A. rehmsii</i> Sieverd. & S. Toro		x	x			x									x			x	x
<i>A. rugosa</i> J.B. Morton		x												x					x
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x		x	x		x	x	x
<i>A. spinosa</i> C. Walker & Trappe		x	x		x	x				x		x			x			x	x
<i>A. tuberculata</i> Janos & Trappe		x	x			x						x		x	x			x	x
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker		x	x			x				x								x	
<i>Am. gerdemannii</i> (S.L. Rose, B.A. Daniels & Trappe) C. Walker, Vestberg & A. Schüßler																		x	
<i>Am. jimgerdemannii</i> (Spain, Oehl & Sieverd.) C. Walker																		x	
<i>Am. leptoticha</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker, Vestberg & A. Schüßler			x					x						x			x	x	
<i>Archaeospora trappei</i> (R.N. Ames & Linderman) J.B. Morton & D. Redecker																		x	x
<i>Cetraspora gilmorei</i> (Trappe & Gerd.) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.			x															x	
<i>C. pellucida</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.		x	x			x		x										x	x
<i>Claroideoglossum claroideum</i> (N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler															x			x	x

Continuação Tabela 2

[illegible]

Continuação Tabela 2

[illegible]

[illegible]

Continuação Tabela 2

Espécies de FMA	Caatinga							Mata Atlântica											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>R. verrucosa</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.		x	x				x								x			x	x
<i>R. weresubiae</i> (Koske & C. Walker) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.		x	x															x	
<i>Redeckera fulva</i> (Berk. & Broome) C. Walker & A. Schüßler																		x	x
<i>Scutellospora aurigloba</i> (I.R. Hall) C. Walker & F.E. Sanders			x			x	x					x		x				x	
<i>S. calospora</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & F.E. Sanders			x			x												x	x
<i>S. dipurpurescens</i> J.B. Morton & Koske			x						x			x			x			x	
<i>Septoglomus constrictum</i> (Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	x														x			x	x
<i>S. deserticola</i> (Trappe, Bloss & J.A. Menge) G.A. Silva, Oehl & Sieverd.															x			x	
<i>Simiglomus hoi</i> (S.M. Berch & Trappe) G.A. Silva, Oehl & Sieverd.																		x	x

x: indica ocorrência da espécie; d: bioma que a espécie foi descrita. *área de brejo de altitude

1- Carneiro *et al.* (2012); **2-** Ferreira (2011); **3-** Goto *et al.* (2010a); **4-** Goto *et al.* (2010b); **5-** Mello *et al.* (2012); **6-** Mergulhão *et al.* (2010a); **7-** Perlatti (2010); **8-** Aguiar *et al.* (2008); **9-** Alves (2004); **10-** Bonfim (2011); **11-** Carrenho & Gomes-da-Costa (2011); **12-** Freitas (2010); **13-** Goto *et al.* (2012); **14-** Melo (2004); **15-** Santos & Carrenho (2011); **16-** Silva *et al.* (2008) e Oehl *et al.* (2011c); **17-** Souchie *et al.* (2006); **18-** Zangaro & Moreira (2010); **19-** Zangaro *et al.* (2012a).

3. DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO¹

Resumo

O hospedeiro vegetal e os atributos do solo são os principais fatores que afetam a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares. Assim, esse estudo objetiva analisar a riqueza de espécies, a diversidade e a composição da comunidade de FMA em um gradiente vegetacional, constituído por uma floresta seca, zona transicional e floresta úmida, no semiárido brasileiro. Amostras de solo foram coletadas nos períodos chuvoso e seco em Triunfo, Pernambuco, Brasil. Cinquenta e uma espécies de FMA foram identificadas, com maior riqueza e abundância de esporos na floresta seca, enquanto maior diversidade de espécies de FMA, com base no índice de Shannon, registrada na zona transicional. A composição da comunidade de FMA diferiu significativamente entre os períodos, com registro de maior abundância de FMA na estiagem. O solo explicou 60% da variância dos dados de composição de FMA, possivelmente os outros 40% estão relacionados ao tipo vegetacional. Os resultados indicam que o solo, juntamente com os hospedeiros vegetais, influencia a composição das comunidades de FMA em escala local.

Palavras-chave: Glomeromycota, riqueza, índices de diversidade, ecologia do solo, tipos vegetacionais.

Introdução

Os fatores ambientais atuam nos padrões de distribuição dos organismos influenciando, assim, a diversidade biológica (Begon et al., 2006). As variáveis bióticas e abióticas dos nichos afetam as espécies explicando as diferenças encontradas na composição de comunidades biológicas em escala local.

¹ Artigo submetido para publicação como Silva, I.R., Mello, C.M.A, Ferreira Neto, R.A., Melo, A.L., Oehl, F., Maia, L.C. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along a vegetation gradient in the Brazilian semiarid. *Revista Fungal Ecology*.

O solo, por exemplo, é um sistema complexo que suporta as plantas, abriga os microorganismos e é onde as associações ecológicas são moldadas pelo ambiente (Lavelle, 2009; Paul, 2007). A micorriza arbuscular é uma das mais importantes associações ecológicas porque mais que 80% das plantas estabelecem essa simbiose, é o tipo de micorriza mais antigo da natureza e é uma associação largamente distribuída no planeta (Bonfante & Genre, 2010; Das & Varma, 2009; Smith & Read, 2008).

Essa associação é formada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pertencentes ao filo Glomeromycota, que consiste em três classes, cinco ordens, 15 famílias, 32 gêneros e mais que 250 espécies descritas (Goto et al., 2012; Oehl et al., 2011a). Os FMA promovem benefícios nutricionais (Smith & Smith 2012), proteger seus hospedeiros contra patógenos (Sikes et al., 2009) e aumentam a resistência das plantas contra estresses ambientais (Yano -Melo et al., 2003). Esses fungos também contribuem para a estabilidade edáfica, porque atuam na agregação das partículas do solo e retenção de água por meio da rede de micelial e produção de glomalina (Gianinazzi et al., 2010).

Os benefícios ecológicos promovidos por esses fungos para as comunidades vegetais e qualidade edáfica retrata a importância de estudos sobre comunidades de FMA em diferentes ambientes. Em escala global, os FMA são influenciados pela limitação de dispersão, comunidades de plantas e fatores ambientais (Kivlin et al., 2011), enquanto que em escala local, o solo e as diferenças climáticas são os principais fatores que atuam sobre a diversidade dos FMA (Ji et al., 2012).

Nesse sentido, estudos voltados ao conhecimento da comunidade de FMA relacionando os fatores ambientais podem fornecer dados mais robustos sobre a ecologia desse importante grupo de fungos. Locais com gradientes ambientais podem ser uma boa alternativa para o entendimento dos fatores que influenciam os FMA (Antoninka et al., 2011; Yang et al., 2011b). Contudo, poucos estudos objetivam analisar a estrutura da comunidade de FMA em gradientes ambientais (Mangan et al., 2004).

O presente estudo objetivou avaliar a influência das mudanças vegetacionais, edáficas e temporais sobre a composição das comunidades de FMA. As seguintes hipóteses foram testadas: (1) a diversidade de FMA difere entre locais com diferentes tipos de vegetação, (2) a área com a maior riqueza de espécies de plantas abriga maior riqueza e diversidade de FMA, (3) variações temporais influenciam os FMA, com maior riqueza e diversidade de FMA detectada durante a estação de estiagem. Espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para uma melhor compreensão da ecologia de FMA em

ambientes semiáridos, considerando a importância desses micro-organismos para o funcionamento dos ecossistemas terrestres.

Materiais e métodos

Áreas de estudo

As áreas de estudo localizam-se no Município de Triunfo, Pernambuco, Brasil (Tabela 1). Esse Município fica inserido na região semiárida de Pernambuco, caracterizada por apresentar clima quente e úmido e vegetação consistindo principalmente de florestas semi-decíduas (IBGE, 2011).

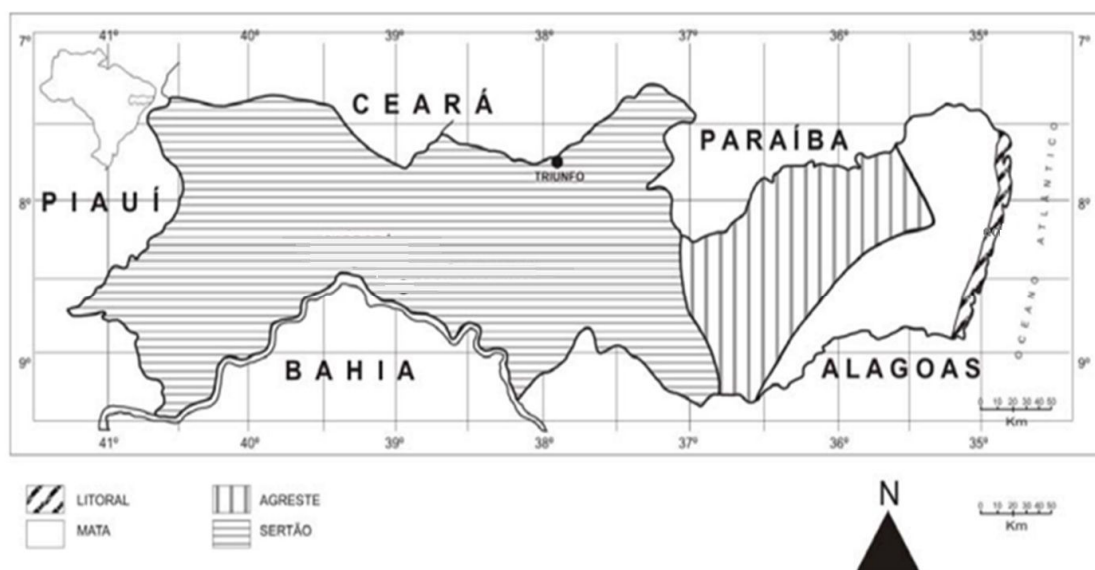


Figura 1. Mapa de Pernambuco mostrando o Município onde foi realizado o estudo.

O estudo foi conduzido em uma serra do sítio Carro Quebrado localizado no distrito de Canaã ($07^{\circ}52'36.30''S$ e $38^{\circ}6'18.40''O$). Nesse local há um gradiente de vegetação, constituído por floresta seca a 570 m de altitude, zona transicional a 620 m e floresta úmida a 670 m (Figura 2; Tabela 1).

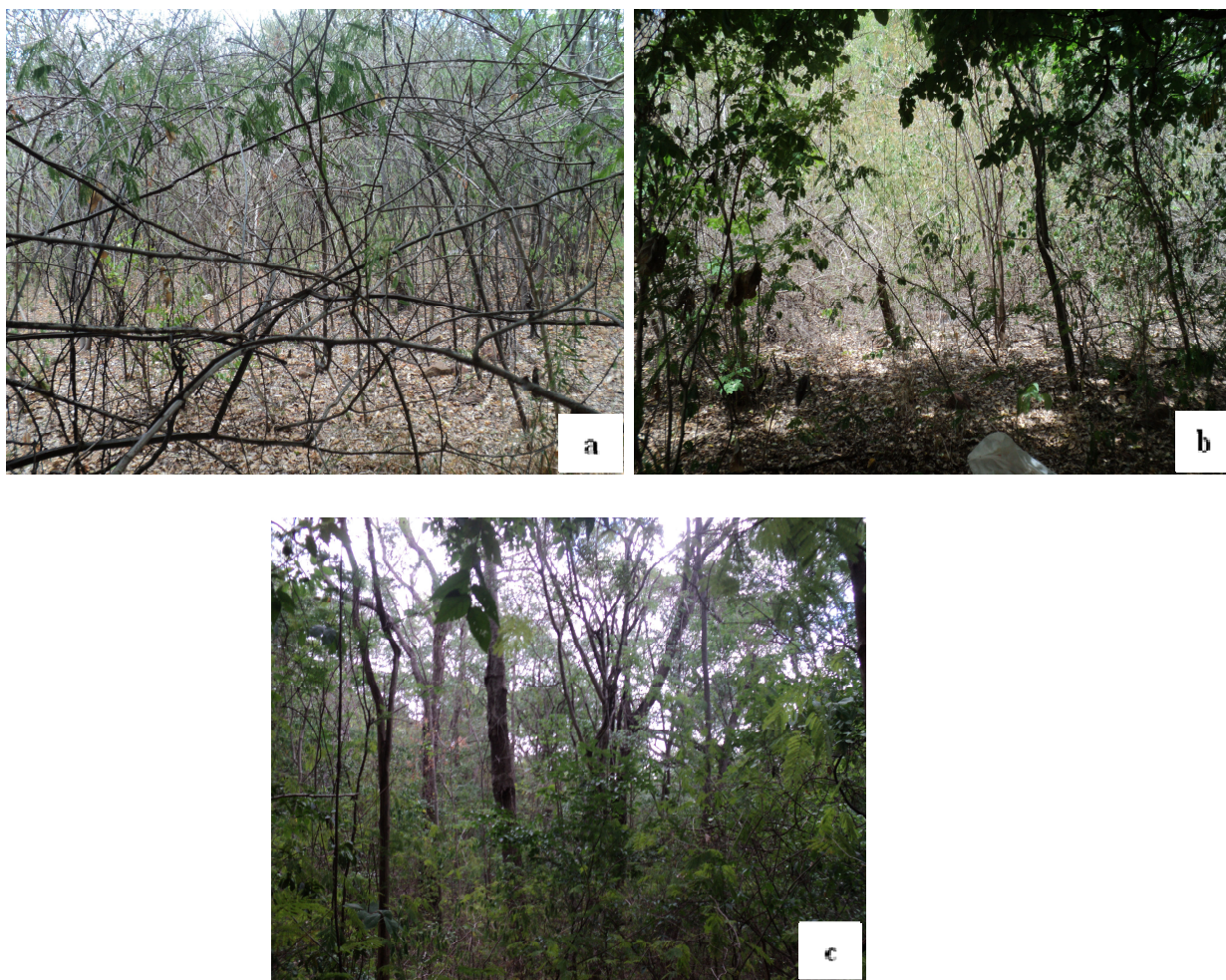


Figura 2. Áreas de estudo: (a) floresta seca, (b) zona transicional e (c) floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

A precipitação acumulada em Triunfo foi 1704 e 301 mm, respectivamente em 2011 e 2012 (APAC, 2013 - <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>>). A baixa pluviosidade em 2012 foi atípica considerando que esse Município apresenta média de precipitação em torno de 1.100 mm (APAC, 2013). As informações sobre a precipitação em Triunfo foram obtidas de uma estação meteorológica distanciada 19,9 km do sítio Carro Quebrado.

Tabela 1. Altitude e localização geográfica das áreas de estudo: floresta seca, zona transicional e floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

Área de estudo	Altitude (m)	Localização geográfica	
		Latitude	Longitude
Floresta seca	570	7°52'45.29"S	38°06'13.64"O
Zona transicional	620	7°52'37.01"S	38°06'16.59"O
Floresta úmida	670	7°52'29.42"S	38°06'12.07"O

A vegetação da floresta seca tem caracteristicamente: *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Guapira laxa* (Netto) Furlan, *Lantana camara* L., *Lithraea brasiliensis* Marchand, *Rhamnidium molle* Reissek, *Schoepfia brasiliensis* A.DC., *Varronia leucocephala* (Moric.) J.S.Mill.

Na vegetação da zona transicional encontram-se, entre outras: *Acalypha multicaulis* Müll.Arg., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Aralia warminagiana* (Marchal) J.Wen, *Aspidosperma cuspa* (Kunth) S.F.Blake ex Pittier, *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl, *Licania* sp., *Lithraea brasiliensis* Marchand, *Phyllostylon brasiliensis* Capan. ex Benth. & Hook. f., *Ptilochaeta bahiensis* Turcz., *Rhamnidium molle* Reissek, *Ruprechtia laxiflora* Meisn., *Schoepfia brasiliensis* A.DC., *Varronia leucocephala* (Moric.) J.S.Mill.

A vegetação da floresta úmida, segundo Silva (2011), é composta, entre outras, pelas seguintes espécies: *Acalypha multicaulis* Müll.Arg., *Alibertia* sp., *Allophylus* sp., *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, *Aralia warminagiana* (Marchal) J.Wen, *Aspidosperma cuspa* (Kunth) S.F.Blake ex Pittier, *Balfourodendron molle* (Miq.) Pirani, *Brosimum* sp., *Campomanesia* sp., *Casearia luetzelburgii* Sleumer, *Cynophalla flexuosa* (L.) J.Presl, *Diospyrus* sp., *Erythroxylum citrifolium* A.St.-Hil., *Guapira laxa* (Netto) Furlan, *Helicteres macropetala* A.St.-Hil., *Licania* sp., *Maytenus obtusifolia* Mart., *Phyllostylon brasiliensis* Capan. ex Benth. & Hook. f., *Ptilochaeta bahiensis* Turcz., *Rhamnidium molle* Reissek, *Ruprechtia laxiflora* Meisn., *Savia sessiflora* (Sw.) Willd., *Schoepfia brasiliensis* A.DC., *Sideroxylon obtusifolium* (Roem. & Schult.) T. D. Penn., *Trichilia emarginata* (Turcz.) C.D.C.

Coletas e caracterização do solo

Coletas foram realizadas em agosto de 2011 (final da estação chuvosa) e janeiro de 2012 (final da estação de estiagem). Em cada área foi definida uma parcela de 0,5 ha e coletadas aleatoriamente dez unidades amostrais compostas de cinco subamostras de aproximadamente 5kg de solo na profundidade de 0-20 cm, as quais foram trazidas para o Laboratório de Micorrizas/Universidade Federal de Pernambuco.

Para a determinação dos atributos edáficos, amostras de solo de cada local foram misturadas duas a duas totalizando cinco amostras compostas por área e período. As análises foram realizadas na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Estação

Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina com base nas metodologias descritas no 'Manual de Análises Químicas para a Avaliação da Fertilidade do Solo' (Embrapa, 1998).

A umidade do solo foi determinada gravimetricamente após secagem de 2 g de solo em uma estufa de secagem (105 °C/24 h) e os valores foram expressos em percentagem (Debosz *et al.*, 1999). Para a determinação do nitrogênio total, amostras de solo foram digeridas e a quantificação foi feita por titulação de acordo com o método de Kjeldahl (Thomas *et al.*, 1967).

Culturas Armadilhas

Culturas armadilhas foram montadas em casa de vegetação do 'Departamento de Micologia' da UFPE visando à obtenção de glomerosporos para auxiliar na identificação das espécies de FMA e detectar possíveis espécies que não foram recuperados a partir de amostras de solo de campo. Na montagem, foi misturado 1 kg de areia esterilizada a 1 kg de solo (composto por 500 g de solo de duas unidades amostrais), perfazendo cinco vasos de cultura armadilha por área em cada período de coleta. A capacidade dos vasos foi de 2 kg de solo e foram utilizadas como plantas hospedeiras, no mesmo vaso: milho (*Zea mays* L.), sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

As culturas permaneceram em casa de vegetação por dois ciclos de quatro meses, sendo irrigadas diariamente e fertilizadas a cada 15 dias, seguindo o método de Hoagland & Arnon (1950), modificado por Jarstfer & Sylvia (1992). A irrigação foi suspensa no fim de cada ciclo e 100 g de solo foram coletados de cada cultura para a extração de glomerosporos e posterior identificação de espécies de FMA. A temperatura média dentro da casa de vegetação foi de 28 °C, variando de 20 °C a 35 °C.

Tabela 2. Propriedades químicas e físicas do solo na floresta seca (FS), zona transicional (ZT) e floresta úmida (FU), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

Áreas	pH	Ca	Mg	K	Na	CTC	P	N	Cu	Mn	Zn	C	MO	Umidade	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	H ₂ O	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³					%						
Período Chuvoso																		
FS	7,2a	6,3b	0,8b	0,9a	0,03b	8,7b	50,6a	0,5b	0,2b	305a	11,4b	1,8b	3,0b	9,2b	58a	29b	13b	Franco-arenoso
ZT	7,0a	12,8a	2,2a	1,0a	0,04ab	17,9a	88,0a	0,8a	0,5b	396a	25,7a	3,3a	5,7a	21,1a	47b	35a	18a	Franco
FU	7,0a	12,5a	1,8a	0,9a	0,04a	17,0a	85,4a	0,9a	1,6a	332a	25,6a	2,9a	5,0a	23,3a	47b	33ab	20a	Franco
Período Seco																		
FS	6,9a	5,9b	0,8b	0,9a	0,03a	9,1b	17,4b	0,7a	0,4b	160a	7,5b	1,9b	3,2b	3,3b	53a	33b	14b	Franco-arenoso
ZT	7,1a	10,2a	1,5ab	1,0a	0,04a	14,4a	84,0a	0,7a	1,2a	420a	21,8a	3,1a	5,3a	8,1a	48b	38a	14b	Franco
FU	6,9a	12,4a	1,8a	1,1a	0,04a	16,8a	96,0a	0,7a	0,8ab	395a	29,0a	3,2a	5,6a	10,1a	47b	34b	19a	Franco

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, em cada coleta, não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. CTC: Capacidade de Troca de Cátions. MO: Matéria Orgânica.

Extração de glomerosporos e identificação das espécies de fungos micorrízicos arbusculares

Glomerosporos isolados ou em esporocarpos foram extraídos de 100 g de solo seco das amostras das áreas de estudo e das culturas armadilha pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguido por centrifugação em água e sacarose (50%) (Jenkins, 1964, modificado). Os glomerosporos foram separados em morfotipos e montados em lâminas com álcool polivinílico em lactoglicerol (PVLG) e PVLG + reagente de Melzer (1:1 v/v) para a identificação das espécies, a qual foi realizada utilizando-se o manual de identificação de FMA de Schenck & Pérez (1990) e as descrições recentes. Cada indivíduo foi identificado e quantificado para análise dos índices ecológicos. A classificação adotada foi a proposta por Oehl *et al.* (2011a) e Goto *et al.* (2012).

Análises das comunidades de FMA e estatísticas

Para análise estatística dos atributos químicos e físicos do solo, foram considerados dois períodos (chuvoso e seco), três áreas (floresta úmida, zona transicional e floresta seca) e cinco repetições. Os atributos edáficos foram submetidos a análises de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) com auxílio do programa BioEstat 5.0 (Ayres *et al.* 2007).

Para análise das comunidades de FMA foram calculados os índices de diversidade de Shannon e de Margalef e o índice de equitabilidade de Pielou. O índice de diversidade de Shannon foi calculado de acordo com a equação: $H' = - \sum (X_i/X_o) \times \log (X_i/X_o)$, X_i é o número de esporos de cada espécie em 100 g de solo; X_o é o número total de esporos de todas as espécies (Shannon & Weaver, 1949). O índice de Margalef foi calculado com base na seguinte equação: $d = S-1/\log N$, S é o número de espécies, N é o número total de esporos na amostra (Margalef, 1958). O índice de equitabilidade de Pielou foi obtido a partir da aplicação da seguinte equação: $J' = H'/\log (S)$, X_i é o número de esporos de cada espécie em 100 g, X_o é o número total de esporos de todas as espécies (Pielou, 1975).

A riqueza de espécies foi determinada pelo número total de espécies identificadas nas áreas e o número estimado de espécies foi calculado usando o índice Jackknife de primeira ordem (Magurran, 1988). Também foram calculados: a abundância de esporos de cada espécie por período e área, o número relativo de esporos (razão entre o número de esporos de uma determinada espécie pelo número total de esporos), a frequência de ocorrência das espécies por área (percentagem de amostras que continha uma espécie em

particular) e a frequência de ocorrência relativa (razão entre o número de amostras em que determinada espécie ocorreu pelo número total de amostras) (Santos & Carrenho, 2011).

A partir da avaliação da frequência de ocorrência, as espécies foram classificadas em dominantes ($FO > 50\%$), muito comuns ($31\% \leq FO \leq 50\%$), comuns ($10\% \leq FO \leq 30\%$) e raras ($FO < 10\%$) segundo o proposto por Zhang *et al.* (2004).

Para avaliar a similaridade entre as espécies de plantas e espécies de FMA das áreas, o índice de Sørensen foi aplicado utilizando a fórmula $C_s = 2c / (S_1 + S_2)$, onde c é o número de espécies que ocorrem em ambas as áreas, s_1 = espécies totais de área um, e s_2 = total de espécies da área dois (Brower & Zar 1984). As análises de agrupamento e curvas de acumulação de espécies foram realizadas usando o programa Primer 6.0 (Clarke & Gorley, 2006).

Os dados de composição das comunidades de FMA foram ordenados usando “non-metric multidimensional scaling” (NMS) (Kruskal, 1964) e distância de Sørensen. Uma matriz secundária foi usada para correlacionar os parâmetros químicos e físicos do solo com os dados de composição de comunidades de FMA (matriz primária) com objetivo de observar se há relação entre as propriedades edáficas e os fungos micorrízicos arbusculares. A significância das correlações foi estimada em consulta à página do VassarStats (©Richard Lowry, 2011-2013, <http://vassar.net/rsig.html>).

Para análise das espécies indicadoras (combinação da abundância relativa e frequência relativa das espécies) utilizou-se o teste de Monte Carlo (Dufrêne & Legendre, 1997). Nesse estudo foram consideradas como boas indicadoras para cada área as espécies que apresentaram valor de indicação ≥ 40 e nível de significância $\leq 5\%$ (p).

Diferenças estatísticas da composição das comunidades e da atividade FMA nas áreas e entre os períodos de coleta foram testadas usando o procedimento de permutação de multirespostas (MRPP, Mielke & Berry, 2000) com base na distância de Sørensen. MRPP é um teste estatístico multivariado e não paramétrico que testa diferenças entre grupos (Biondini *et al.*, 1985 apud Peixoto *et al.*, 2010).

O Mantel, que testa a hipótese de não existir relação entre matrizes (Douglas & Endler, 1982), foi utilizado para observar, pelo método de randomização de Monte Carlo, se existe correlação entre a matriz de atividade de fungos micorrízicos arbusculares e a matriz de atributos físicos e químicos do solo, e também entre a composição das comunidades de FMA e os atributos edáficos com base na distância de Sørensen. Todas as

análises multivariadas (espécie indicadora, NMS, MRPP e Mantel) foram realizadas com auxílio do programa PC-ORD versão 5.0 (McCune & Mefford, 2006).

Resultados

Para maioria dos atributos do solo (teores de cálcio, magnésio, carbono, matéria orgânica, areia e umidade do solo) houve diferenças significativas da floresta seca em relação às outras áreas (Tabela 2).

Cinquenta e três espécies de plantas foram registradas nas áreas, com maior número na floresta úmida (47) (Silva, 2011), seguida da zona transicional (22) e da floresta seca (12). Vinte e três espécies ocorreram apenas na floresta úmida e quatro apenas na área de floresta seca. Com base na riqueza de espécies vegetais, a floresta úmida apresentou maior similaridade com a zona transicional (Figura 3a).

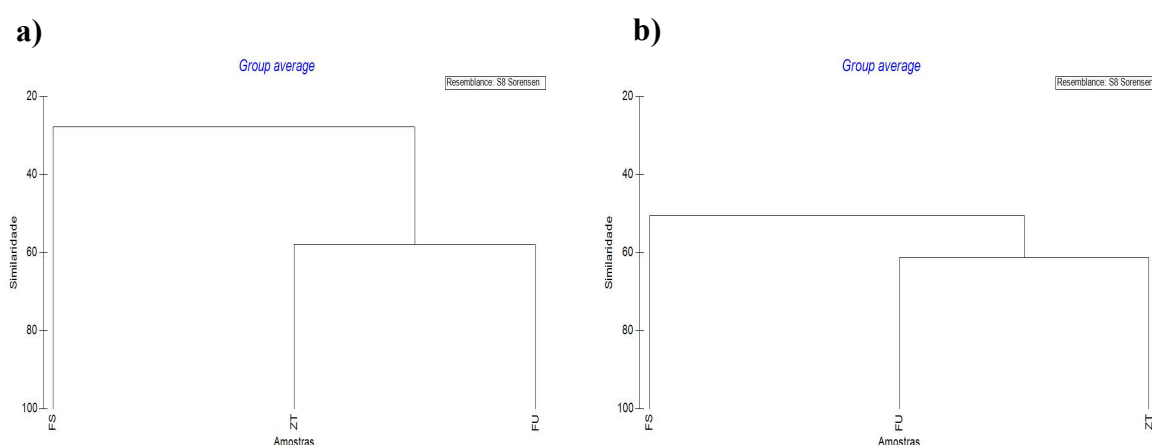


Figura 3. Similaridade das espécies de plantas (a) e das espécies de FMA (b), com base no índice de Sørensen, entre as áreas estudadas (Floresta seca - FS, Zona transicional - ZT e Floresta úmida - FU), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

No total, 51 espécies de FMA pertencentes a 17 gêneros de 11 famílias de Glomeromycota (Acaulosporaceae, Ambisporaceae, Dentiscutataceae, Diversisporaceae, Entrophosporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae, Intraornatosporaceae, Pacisporaceae, Paraglomeraceae e Racocetraceae) foram identificadas a partir de 60 amostras de solo das áreas sob gradiente vegetacional (Tabela 3). Uma dessas espécies (*Glomus ambisporum*) foi recuperada apenas em culturas armadilha.

Os registros de *Acaulospora minuta* e *Acaulospora splendida* são novos para o Brasil e *A. dilatata*, *A. sieverdingii* e *Fuscutata rubra* novos para a Caatinga. Alguns dos táxons não puderam ser identificados em nível específico por constituírem novas espécies ou devido à qualidade e/ou a baixa quantidade de glomerosporos.

Acaulospora (17 espécies) e *Glomus* (14 espécies) apresentaram maior número de espécies, enquanto *Gigaspora* foi representado por 3 espécies, *Funneliformis*, *Cetraspora* e *Racocetra* por 2 espécies cada e os demais gêneros (*Ambispora*, *Claroideoglomus*, *Corymbiglomus*, *Diversispora*, *Entrophospora*, *Fuscutata*, *Intraornatospora*, *Kuklospora*, *Pacispora*, *Paraglomus* e *Septoglomus*) por apenas uma espécie (Tabela 3).

Das espécies de *Acaulospora*, *A. scrobiculata*, *A. sieverdingii*, *Acaulospora* sp. 1 e *Acaulospora* sp. 2 foram as de maior abundância e frequência relativas. Dentre os representantes de *Glomus*, *G. glomerulatum*, *G. intraradices*, *G. macrocarpum*, *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, *Glomus* sp.3, *Glomus* sp.4 e *Glomus* sp.5 apresentaram maior esporulação e distribuição nas áreas. *Claroideoglomus etunicatum*, *Funneliformis mosseae*, *Gigaspora decipiens*, *Pacispora* sp. e *Paraglomus pernambucanum* foram abundantes e frequentes (Tabela 3).

Tabela 3. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em uma floresta seca (FS), uma zona transicional (ZT) e uma floresta úmida (FU): gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

Espécies de FMA	Floresta Seca (FS)				Zona Transicional (ZT)				Floresta Úmida (FU)				Abundância Relativa	Frequência Relativa	VI (%)	Áreas
	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA				
<i>Acaulospora bireticulata</i> F.M. Rothwell & Trappe	CO	0	3			0	0			0	0		0.110	3.333	10ns	FS
<i>A. delicata</i> C. Walker, C.M. Pfeiff. & Bloss		0	2			0	0			0	0		0.073	1.667	5 ns	ZT
<i>A. denticulata</i> Sieverd. & S. Toro		0	0		R	2	0			0	0		0.073	1.667	5 ns	ZT
<i>A. dilatata</i> J.B. Morton		0	0	X		0	0		R	0	2		0.073	1.667	5 ns	FU
<i>A. longula</i> Spain & N.C. Schenck	R	1	0	X		0	0		R	0	1		0.073	3.333	2 ns	FU
<i>A. mellea</i> Spain & N.C. Schenck	CO	1	11	X		0	0		R	0	1		0.477	5.000	9 ns	FS
<i>A. minuta</i> Oehl, Tchabi, Hount., Palenz., I.C. Sánchez & G.A. Silva	CO	6	16	X	R	0	1	X	R	0	1		0.881	13.333	28*	FS
<i>A. morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck	CO	2	1		CO	0	2			0	0		0.183	3.333	5 ns	FS
<i>A. scrobiculata</i> Trappe	D	264	338	X	CO	0	2	X		0	0		22.165	30.000	80*	FS
<i>A. sieverdingii</i> Oehl, Sýkorová, Blaszk. & G.A. Silva	D	36	11	X		0	0			0	0		1.725	18.3333	55*	FS
<i>Acaulospora</i> sp.1	MC	4	124	X	R	0	1		R	0	1		4.771	18.333	44*	FS
<i>Acaulospora</i> sp.2	D	58	78	X		0	0			0	0		4.991	25.000	75*	FS
<i>Acaulospora</i> sp.3	CO	0	19	X		0	0			0	0		0.697	8.333	25*	FS
<i>Acaulospora</i> sp.4	CO	1	1			0	0			0	0		0.073	3.333	2 ns	FS
<i>Acaulospora</i> sp.5	MC	0	75			0	0			0	0		2.752	8.333	25*	FS
<i>A. spinosa</i> C. Walker & Trappe	R	3	0			0	0		R	0	1		0.147	3.333	4 ns	FS
<i>A. splendida</i> Sieverd., Chaverri & I. Rojas	R	1	0			0	0			0	0		0.037	1.667	5 ns	FS
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker		0	0			0	0		R	2	0		0.073	1.667	5 ns	FU
<i>Cetraspora pellucida</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	R	0	2	X		0	0			0	0		0.073	1.667	5 ns	FS
<i>Cetraspora</i> sp.		0	0		R	0	2			0	0		0.073	1.667	5 ns	ZT

Tabela 3. continuação

Espécies de FMA	Floresta Seca (FS)				Zona Transicional (ZT)				Floresta Úmida (FU)				Abundância Relativa	Frequência Relativa	VI (%)	Áreas
	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA				
<i>Claroideoglossum etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler	CO	2	1	X	MC	13	34		MC	19	7		2.789	36.667	30*	ZT
<i>Corymbiglossum tortuosum</i> (N.C. Schenck et G.S. Sm.) Blaszk. et Chwat		0	0		CO	0	8			0	0		0.294	5.000	15 ns	ZT
<i>Diversispora spurca</i> (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss) C. Walker & A. Schüßler 2004		0	0		R	1	0			0	0		0.037	1.667	5 ns	ZT
<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid.	CO	0	2		R	0	1			0	0		0.110	5.000	7 ns	FS
<i>Funneliformis mosseae</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüssler	CO	12	6		CO	6	2		CO	1	2		1.064	20.000	12 ns	FS
<i>Funneliformis</i> sp.		0	0		R	1	0		R	1	0		0.073	13.333	12 ns	ZT
<i>Fuscutata rubra</i> (Stürmer & J.B. Morton) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.		0	0			0	0		R	1	0		0.037	1.667	5 ns	FU
<i>Gigaspora decipiens</i> I.R. Hall & L.K. Abbott	MC	2	19	X	CO	1	4	X	R	1	0		0.991	20.000	27*	FS
<i>G. gigantea</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe	R	1	0	X	R	0	2	X	R	2	0		0.183	5.000	2 ns	FU
<i>G. margarita</i> W.N. Becker & I.R. Hall	CO	0	6		CO	1	2	X		0	0		0.330	8.333	10 ns	FS
<i>Glomus aggregatum</i> N.C. Schenck & G.S. Sm.	R	0	1		CO	18	3			0	0		0.807	5.000	10 ns	ZT
<i>G. ambisporum</i> G.S. Sm. & N.C. Schenck				X				X				X				
<i>G. coremioides</i> (Berk. & Broome) D. Redecker & J.B. Morton	R	1	0			0	0			0	0		0.037	1.667	5 ns	FS
<i>G. glomerulatum</i> Sieverd.	R	2	0		CO	5	32		CO	2	5	X	1.688	18.333	24*	ZT
<i>G. intraradices</i> N.C. Schenck & G.S. Sm	MC	31	9	X	R	5	0		CO	4	0	X	1.798	16.667	29*	FS
<i>G. macrocarpum</i> Tul & C. Tul	MC	4	3	X	MC	13	19	X	CO	2	5	X	1.688	36.667	26 ns	ZT
<i>G. microcarpum</i> Tul & C. Tul	CO	9	0	X	CO	4	3		CO	2	2		0.734	18.333	10 ns	ZT
<i>G. rubiforme</i> (Gerd. & Trappe) R.T. Almeida & N.C. Schenck		0	0		CO	1	27			0	0		1.028	5.000	15 ns	ZT
<i>G. sinuosum</i> (Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck	CO	0	3			0	0		R	1	0		0.147	5.000	8 ns	FS

Tabela 3. continuação

Espécies de FMA	Floresta Seca (FS)				Zona Transicional (ZT)				Floresta Úmida (FU)				Abundância Relativa	Frequência Relativa	VI (%)	Áreas
	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA	FO	CH	E	CA				
<i>Glomus</i> sp.1	D	27	297	X	D	5	43	X	MC	13	20	X	14.862	68.333	65*	FS
<i>Glomus</i> sp.2	D	23	174	X	MC	13	13	X	D	8	19	X	9.174	56.667	63*	FS
<i>Glomus</i> sp.3	D	55	149		D	28	42	X	D	45	82	X	14.716	81.667	41 ns	FS
<i>Glomus</i> sp.4	C	8	6		CO	4	1		C	8	8		1.284	21.667	11 ns	FU
<i>Glomus</i> sp.5	CO	9	4		CO	11	1		C	1	7		1.211	21.667	12 ns	FS
<i>Intraornatospora intraornata</i> (B.T. Goto & Oehl) B.T. Goto, Oehl & G.A. Silva	R	0	1			0	0			0	0		0.037	1.667	5 ns	FS
<i>Kuklospora colombiana</i> (Spain & N.C. Schenck) Oehl & Sieverd.	CO	1	5	X	R	1	0		R	0	1		0.294	8.333	15 ns	FS
<i>Pacispora</i> sp.	R	1	0		CO	4	9	X	MC	8	27	X	1.798	23.333	25*	FU
<i>Paraglomus pernambucanum</i> Oehl, C.M. Mello, Magna & G.A. Silva	MC	1	41		CO	1	1		R	0	1		1.651	16.667	33*	FS
<i>Racocetra coralloidea</i> (Trappe, Gerd. & I. Ho) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	CO	3	1	X		0	0			0	0		0.147	5.000	15 ns	FS
<i>Racocetra</i> sp.		0	0		R	0	36	X		0	0		1.321	1.667	5 ns	ZT
<i>Septoglomus constrictum</i> (Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl	CO	2	1		R	0	1			0	0		0.147	6.667	11 ns	FS
Riqueza de espécies	40				31				26							

FO (%): frequência de ocorrência (D: dominante, MC: muito comum, CO: comum e R: rara); CH: período chuvoso; E: estiagem; VI: valor de indicação. CA: Culturas armadilhas. *significante a 5%.

Maiores riqueza de espécies e abundância de esporos foram registrados na área da floresta seca, enquanto se observou maior equitabilidade de espécies na zona transicional (Tabela 4). Do mesmo modo, também se registrou maior diversidade de FMA (com base no índice de Shannon, que considera a riqueza de espécies e a equitabilidade dos indivíduos) na zona transicional. Entretanto, o índice de diversidade de Margalef, que considera principalmente a riqueza das espécies, indicou maior diversidade para a floresta seca.

Tabela 4. Riqueza de espécies de fungos micorrízicos arbusculares, abundância de esporos, índices de diversidade de Shannon e Margalef e índice de equitabilidade de Pielou, nas áreas estudadas (floresta seca, zona transicional e floresta úmida), gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

Áreas	Riqueza	Abundância	Índice de Shannon	Índice de Margalef	Equitabilidade de Pielou
Floresta seca	41	1862	3,55	5,31	0,66
Zona transicional	32	430	4,04	5,11	0,81
Floresta úmida	26	314	3,11	4,33	0,66

Com base no índice Jackknife de primeira ordem (Jackknife 1), foi possível identificar 80% das espécies de FMA estimadas para a floresta seca, 74% para a zona de transição e 66% para a floresta úmida (Figura 4). A similaridade de espécies de FMA foi cerca de 50% entre as áreas, com a floresta úmida e zona transicional apresentando comunidades de FMA mais similares (>60% de similaridade) (Figura 3b).

O resultado da ordenação do escalonamento multidimensional não métrico representou cerca de 60% do total de variância dos dados, justificados em 19% pelo eixo 1 e em 31% pelo eixo 2 (Figura 5). As variações espaciais nas comunidades de FMA indicaram que as áreas de floresta seca e zona transicional (distância espacial = 50 m) e florestas seca e úmida (distância espacial = 100 m) diferem significativamente.

O teste de Mantel revelou uma correlação significativa ($p \leq 1\%$) entre a matriz primária (composição das comunidades de FMA) e secundária (atributos químicos e físicos do solo). A maioria dos atributos do solo avaliado influenciou significativamente a estrutura das comunidades de FMA (Tabela 5), mostrando a importância do solo para distribuição das espécies de Glomeromycota.

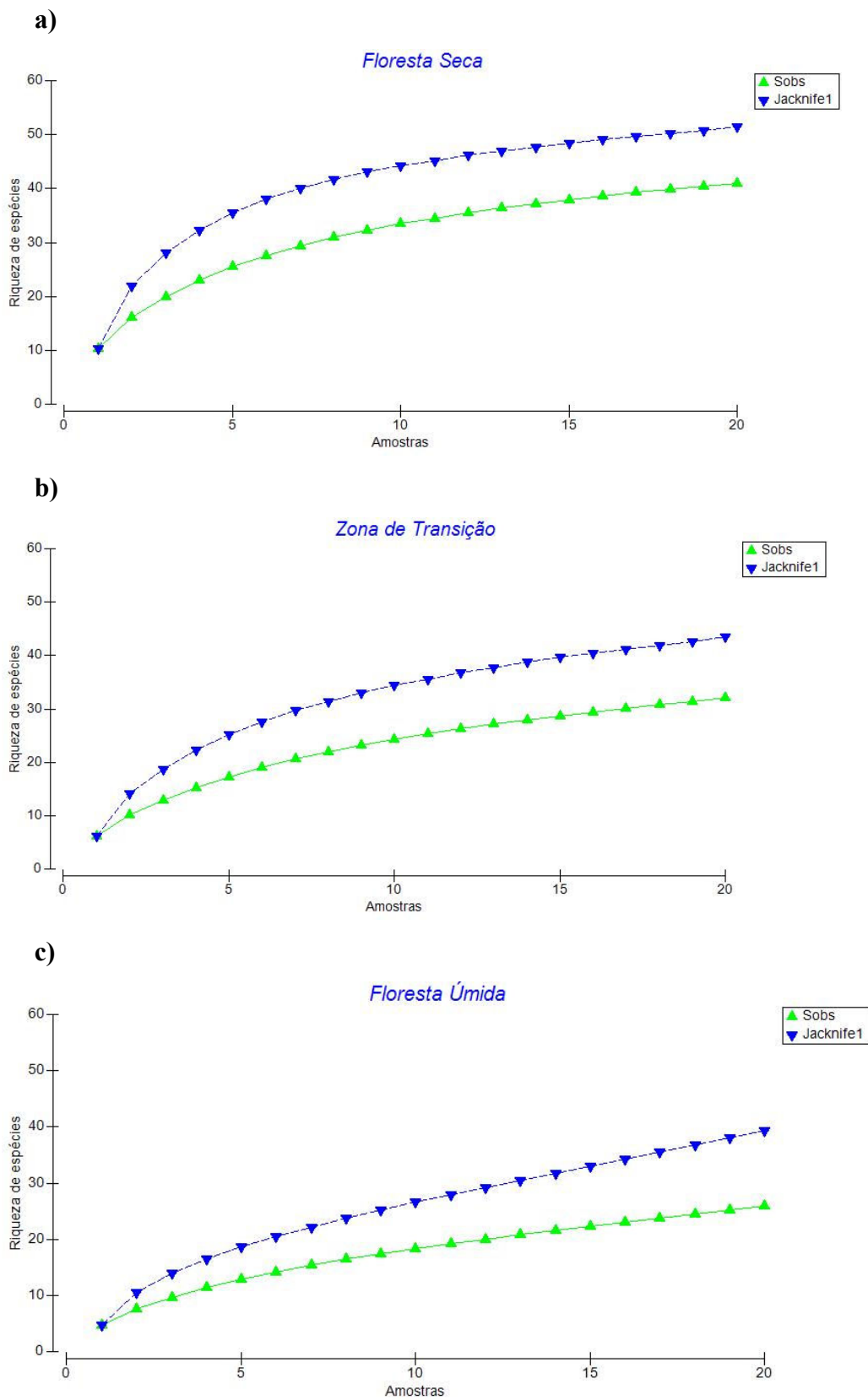


Figura 4. Curvas de acumulação espécies de FMA (Sobs) e riqueza estimada com base no índice Jackknife de primeira ordem nas áreas de floresta seca, zona transicional e floresta úmida, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira.

As variações temporais influenciaram a riqueza de espécies de FMA, com a identificação de mais táxons a partir das amostras coletadas no período de estiagem (Tabela 3). Com base no teste de MRPP, houve diferença na composição das comunidades de FMA entre os períodos de coleta ($p \leq 0,1\%$).

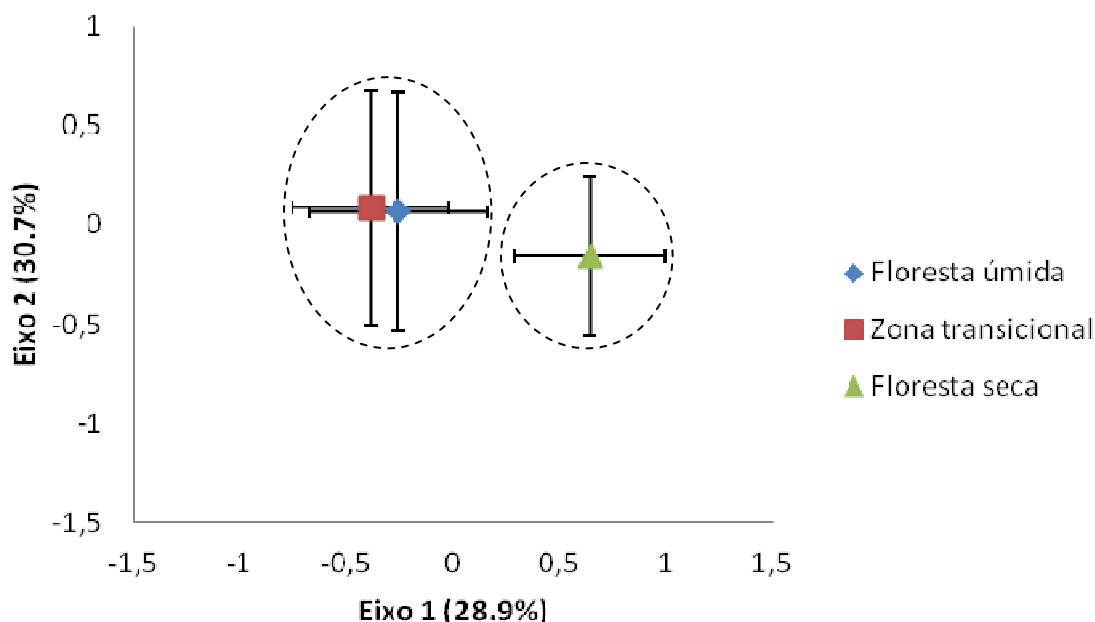


Figura 5. Mudanças na composição da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, com base na ordenação NMS, nos solos de floresta úmida, zona transicional e floresta seca, gradiente vegetacional na região semiárida brasileira. Os símbolos representam a média geométrica de cada área, as linhas verticais e horizontais indicam desvio padrão. Os dados agrupados nas elipses não diferem estatisticamente pelo teste de MRPP nível de significância $\leq 1\%$ (p). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicado pelos eixos da ordenação.

Houve um crescente número de espécies raras a medida que aumentava a altitude; na floresta seca 18% das espécies apresentaram frequência de ocorrência rara, na zona transicional esse valor foi de 39% e na floresta úmida 85% das espécies foram raras. Na floresta seca a maioria das espécies apresentou frequência de ocorrência comum e a minoria foi dominante e muito comum, as dominantes foram *Acaulospora scrobiculata*, *A. sieverdingii*, *Acaulospora* sp.2, *Glomus* sp.1 e *Glomus* sp.2 (Tabela 3). Na zona transicional a maioria também foi comum e a minoria dominante (*Glomus* sp.1 e *Glomus* sp.3). Na floresta úmida a maioria foi de frequência de ocorrência rara e a minoria dominante (*Glomus* sp.2 e *Glomus* sp.3).

No caso da floresta úmida, 77% da comunidade de FMA era composta por espécimes de *Glomus* (74%) e *Acaulospora* (3%); na zona transicional espécimes desses dois gêneros representavam 72% da comunidade (*Glomus* = 70% e *Acaulospora* = 2%),

enquanto na floresta seca 94% dos FMA eram representantes desses gêneros (*Acaulospora* = 53% e *Glomus* = 41%). *Acaulospora scrobiculata*, *A. sieverdingii*, *Acaulospora* sp.1, *Acaulospora* sp.2, *Glomus* sp.1 e *Glomus* sp.2 apresentaram $VI \geq 40\%$ e $p \leq 5\%$, o que as caracteriza como espécies indicadoras da área de floresta seca (Tabela 3).

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre variáveis do solo e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 5).

Variáveis	Coeficientes de Correlação	
	Eixo 1 - NMS	Eixo 2 - NMS
Fe	0,07ns	-0,27***
Cu	0,03ns	0,48*
Zn	-0,16ns	0,60*
Mn	-0,04ns	0,24***
P	-0,08ns	0,54*
N	-0,14ns	0,29***
pH	-0,02ns	-0,09ns
Na	-0,15ns	0,23***
Ca	-0,19ns	0,53*
Mg	-0,17ns	0,53*
C	-0,26***	0,55*
M.O.	-0,26***	0,55*
Areia	0,16ns	-0,56*
Silte	-0,08ns	0,38**
Argila	-0,15ns	0,41*
Umidade	-0,21ns	0,44*

*significativo a 0,1%; ** significativo a 1%; *** significatvo a 5%; ns: não significativo; M.O.: matéria orgânica do solo.

Discussão

Esse é o primeiro estudo sobre diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de gradiente vegetacional no semiárido brasileiro e foi detectada alta riqueza de desses fungos (51 espécies) quando comparado a outros trabalhos realizados na mesma região; em quatro áreas do Piauí a riqueza de espécies de FMA variou de três a nove (Carneiro *et al.*, 2012), em quatro áreas de Pernambuco o número de espécies de FMA variou de 6 a 25 (Mergulhão *et al.*, 2010a) e em cinco áreas do Ceará (quatro agroecossistemas cultivados e uma área de mata nativa adjacente) variou de 8-12 espécies de FMA (Perlatti, 2010).

Dois novos registros para o Brasil (*Acaulospora minuta* e *A. splendida*) e três para a Caatinga (*A. dilatata*, *A. sieverdingii* e *Fuscutata rubra*) ampliam o número de espécies de FMA identificadas no país e no bioma para 121 e 82 espécies, respectivamente (de Souza

et al., 2010; Goto *et al.*, 2010). Esses novos registros confirmam o mencionado por de Souza *et al.* (2010) sobre o fato de o Brasil abrigar elevada riqueza de espécies de FMA, mas que ainda deve ser explorada. Logo, à medida que os estudos são desenvolvidos, principalmente em locais ainda não estudados, a tendência é aumentar a quantidade de registros de ocorrência desses fungos.

Representantes de *Acaulospora* e *Glomus* se destacaram entre as espécies identificadas; esses gêneros são comumente referidos em locais áridos e semiáridos (Johnson & Wedin, 1997; Zhaoyong *et al.*, 2006; Dandan & Zhiwei, 2007; Li *et al.*, 2007; Maia *et al.*, 2010; Mergulhão *et al.*, 2010a) e em florestas úmidas e subúmidas (Lovelock *et al.*, 2003; Souchie *et al.*, 2006; Kowalczyk & Blaszkowski, 2011; Yang *et al.*, 2011a; Zangaro *et al.*, 2012a). Possivelmente, o maior número de espécies conhecidas, a adaptação a ampla faixa de pH (Maia & Trufem, 1990), a atuação de diferentes propágulos na colonização e a infectividade mais rápida são fatores que contribuem para maior ocorrência de espécies desses gêneros (Hart & Reader, 2002).

Além de maior riqueza de espécies, elevada abundância e distribuição de representantes de *Glomus* é confirmada nesse estudo, espécies desse gênero apresentam alta frequência de ocorrência e elevada abundância de esporos quando comparados às espécies dos outros gêneros (Gai *et al.*, 2006). Analisar a abundância e a frequência relativa das espécies de FMA é importante para entender a dominância das espécies de FMA nas comunidades e sua ecologia nos ecossistemas (Dandan & Zhiwei 2007), com resultados desse tipo de pesquisa podendo revelar a sensibilidade de certos táxons a determinados ambientes, manejos, sazonalidade, etc.

Com relação às espécies encontradas, *Acaulospora scrobiculata* apresenta ampla distribuição geográfica parecendo não ser afetada pelos distintos fatores geográficos e ecossistemas (de Souza *et al.*, 2010), por outro lado o registro de *A. sieverdingii* no Brasil apenas foi detectado em áreas de dunas e restingas na Paraíba (Silva *et al.*, 2012). *Glomus macrocarpum* apresenta ampla distribuição no Brasil (de Souza *et al.*, 2010). *Glomus glomerulatum*, *G. intraradices*, *Funneliformis mosseae*, *Racocetra coralloidea* e *Diversispora spurca* já foram identificadas em áreas do semiárido brasileiro (Maia *et al.*, 2010). As espécies de *Gigaspora* identificadas, segundo Moreira & Siqueira (2006), são generalistas, bem como *Ambispora appendicula*, *Cetraspora pellucida* e *Claroideoglomus etunicatum*.

Os diferentes índices aplicados refletiram em respostas distintas quanto à área que apresentou maior diversidade de FMA; contudo, considerando a riqueza e a distribuição uniforme dos indivíduos dentro do ambiente, a zona de transição apresentou maior diversidade de FMA. Para a floresta úmida houve menor riqueza de espécies, o que pode estar relacionado à menor quantidade de glomerosporos produzidos em função da maior estabilidade e menor estresse ambiental nesse ambiente. Como se utilizou glomerosporos para a identificação das espécies de FMA, o menor número de esporos presente na área pode ter refletido na detecção de menor número de espécies. Estudos morfológicos, como os empregados, muitas vezes não permitem a detecção de espécies que não se encontram esporulando no momento da coleta e que também não produzem esporos nas culturas armadilha.

Apesar dessas dificuldades, foi possível recuperar de 66 a 80% dos FMA estimados para as áreas, com base no índice Jackknife de primeira ordem. Mesmo com alta suficiência amostral, o ideal é que as curvas de acumulação de espécies, que determinam a suficiência do esforço amostral para representar a riqueza biológica (Schilling & Batista, 2008) se estabilizem. Quando essa estabilização não é atingida, recomenda-se a realização de novas coletas nos locais estudados e também a utilização de ferramentas moleculares que podem contribuir para melhor representação da estrutura da comunidade de FMA (de Souza *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2012).

Não houve influência temporal na riqueza de FMA já que foi sutil a diferença no número de espécies entre os períodos (apenas a zona de transição teve um acréscimo de cinco espécies na coleta no período de estiagem). Contudo, o período estacional influenciou de modo significativo a composição das comunidades e a abundância das espécies ($p \leq 1\%$), refletindo que a comunidade de FMA e a produção de glomerosporos são influenciadas pela variação temporal.

Maior abundância de espécies foi registrada no período seco possivelmente porque o período de estiagem representa a época de maior produção de glomerosporos, as estruturas utilizadas para a identificação dos FMA (Caproni *et al.*, 2003; Lugo *et al.*, 2005; Alguacil *et al.*, 2012). De acordo com Lugo *et al.* (2005), a disponibilidade de água no solo é um importante fator na composição e funcionamento da relação planta-FMA e, segundo Su *et al.* (2011) a época do ano pode ter mais influência do que o hospedeiro vegetal sobre a comunidade de FMA. Neste trabalho é confirmada a influência do período estacional na estrutura da comunidade de FMA; contudo, não foi esse o fator primordial que afetou os

fungos, já que houve diferenças significativas na composição da comunidade no mesmo período de coleta.

A composição da comunidade de FMA nas áreas foi principalmente influenciada pelo solo, como comprovado pelo teste de Mantel que registrou forte correlação entre as matrizes de abundância de espécies de FMA e atributos edáficos. Além disso, esses parâmetros foram importantes para explicar 60% da variância dos dados, enquanto os 40% restantes devem estar associados ao tipo vegetacional dos locais estudados e/ou a outros fatores não identificados. Em trabalho cujo objetivo foi conhecer a distribuição de FMA em escala continental e global e investigar se as plantas hospedeiras são o principal fator que afeta a distribuição de FMA em larga escala, foi detectada a influência da vegetação, a qual explicou 58% da variância na distribuição de FMA (Yang *et al.*, 2012); os autores atribuíram os 42% da variância não explicada à possível influência do solo, que não foi avaliada.

As análises multivariadas também foram importantes para detectar diferenças significativas da composição das comunidades de FMA entre a zona transicional e a floresta seca e entre as florestas úmida e seca, embora essas áreas apresentassem pequena distância ambiental (50m e 100m). A similaridade das espécies de FMA entre as áreas de floresta úmida e zona transicional deve ser fruto das características do solo, pois a maioria dos atributos edáficos não diferiram entre essas áreas. A influência das plantas dos locais estudados também deve ser considerada para essa alta similaridade entre a floresta úmida e a zona transicional visto que essas áreas compartilham muitas espécies vegetais.

Além da vegetação, o solo da caatinga apresentou características bem distintas das outras áreas o que deve ter influenciado a distinta composição das comunidades de FMA desse local em relação aos outros. Em estudo desenvolvido em 16 locais da Europa foi observado que os diferentes tipos de solo abrigavam distintas espécies de FMA (Oehl *et al.*, 2010), confirmando a importância do solo no estabelecimento desses fungos. Em trabalho realizado nos Estados Unidos também se observou influência das mudanças da vegetação e disponibilidade de recursos sobre os FMA (Antoninka *et al.*, 2011).

O fato de determinada espécie apresentar comportamentos diferenciados, como ser rara em um local e comum em outra, reflete a influência das características ambientais na ocorrência desses fungos. A presença de espécies de FMA com frequência de ocorrência rara, segundo Rosendahl (2008), é um fato normalmente observado nos ecossistemas. Contudo o número elevado de espécies raras na floresta úmida pode significar, por

exemplo, que os FMA desse local utilizam outras estratégias de manutenção em vez da esporulação, e portanto dados de frequência de ocorrência baseados apenas na identificação morfológica dos esporos devem ser analisados cautelosamente (Santos & Carrenho, 2011).

A predominância de representantes de *Acaulospora*, com destaque de *A. scrobiculata*, *A. sieverdingii*, *Acaulospora* sp. 1 na floresta seca e espécies de *Glomus* na floresta úmida e zona transicional retrata a importância das características das áreas sobre os FMA. A floresta seca se diferenciou da floresta úmida tanto em relação ao tipo vegetacional quanto aos atributos do solo, e esses fatores possivelmente contribuem para a distinta composição da comunidade de FMA dessa área. Em uma floresta tropical úmida na Costa Rica, 96,8% da comunidade de FMA foi composta por indivíduos de *Acaulospora*, com *A. morrowiae* representando 62% dos espécimes (Lovelock *et al.*, 2003) e os autores sugerem que a maior predominância de espécies de *Acaulospora* está relacionada à distribuição da precipitação uniformemente ao longo do ano e ao tipo de vegetação. Contrariamente, os locais do presente estudo não apresentaram precipitação uniforme ao longo do período amostrado. Lovelock *et al.* (2003) também destacaram a influência da vegetação, principalmente com representantes de leguminosas, sobre os FMA, o que se assemelha ao registrado nas áreas estudadas.

Apenas a área de floresta seca apresentou potenciais espécies indicadoras, com quatro espécies de *Acaulospora* (*A. scrobiculata*, *A. sieverdingii*, *Acaulospora* sp.1 e *Acaulospora* sp.2) e duas de *Glomus* (*Glomus* sp.1 e *Glomus* sp.2). Por se tratar de uma espécie generalista *A. scrobiculata* não seria uma boa indicadora da floresta seca. As outras espécies indicadoras possivelmente são novas para a ciência e estão sendo analisadas.

Os resultados retratam forte correlação da composição da comunidade de FMA com os atributos edáficos e a vegetação. Assim o solo, juntamente com o tipo vegetacional, são os principais influenciadores desses fungos em escala local, afetando a estrutura da comunidade mesmo em áreas geograficamente próximas. Além desses fatores, variações temporais afetam os FMA e maior abundância desses fungos nas áreas estudadas ocorre na estação de estiagem.

4. ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES AO LONGO DE UM GRADIENTE AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO²

Resumo

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são micro-organismos importantes para a estabilidade dos ecossistemas terrestres, pois beneficiam as espécies vegetais com maior teor nutricional, água, contra patógenos e estresses ambientais. Os FMA também favorecem a agregação do solo seja pela ação do micélio e/ou produção de glomalina. O objetivo desse trabalho foi avaliar a atividade de FMA em dois tipos de vegetação (caatinga e brejo de altitude) e uma zona de transição em dois períodos (seca e úmida), relacionando os propágulos fúngicos com as propriedades edáficas. Amostras de solo e raízes foram coletadas no Município de Triunfo, Pernambuco para determinação do número mais provável (NMP) de propágulos, da densidade glomerosporos, percentagem de colonização micorrízica das plantas e das proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG). A riqueza de espécies de plantas variou de 12, 22 e 47, respectivamente, para a caatinga, zona de transição e brejo de altitude. A atividade de FMA, representada pela densidade glomerosporos, a colonização, o número de propágulos e PSRG, diferiu entre as três áreas e os dois períodos de coleta. A floresta seca diferiu significativamente das outras áreas para a maioria dos atributos do solo e propágulos de FMA (densidade glomerosporos, número de propágulos e PSRG produção). Foi detectada forte correlação entre os propágulos de FMA e o solo, com atributos edáficos explicando 96% da variância dos dados. Os resultados indicam que o solo é o principal fator atuante sobre a atividade dos FMA nas áreas de estudo.

Palavras-chave: colonização micorrízica, NMP, número de glomerosporos, PSRG, solos, caatinga, brejo de altitude.

² Artigo a ser submetido para publicação como Silva, I.R., Ferreira Neto, R.A., Pontes, J.S., Marinho, F., Maia, L.C. 2013. Atividade de fungos micorrízicos Arbusculares ao longo de um gradiente ambiental no Semiárido Brasileiro. Revista Acta Botanica Brasilica.

Introdução

A associação micorrízica arbuscular é uma das mais importantes da natureza, graças aos benefícios que as plantas e os fungos obtêm e pelo fato da maioria dos vegetais (mais que 80% das plantas terrestres) estabelecer essa simbiose (Bonfante & Genre, 2010), amplamente distribuída nos diversos ecossistemas. Além disso, a micorriza arbuscular é a mais antiga do planeta, com evidências de que vem sendo formada há pelo menos 400 milhões de anos (Das & Varma, 2009).

Nesse tipo de associação o fungo recebe fotossintatos essenciais para o seu desenvolvimento e em troca promove inúmeros benefícios aos seus hospedeiros (Smith & Read, 2008), como maior disponibilização de nutrientes e água (Gianinazzi *et al.*, 2010), bioproteção contra patógenos (Wehner *et al.*, 2010) e estresses ambientais (Folli-Pereira *et al.*, 2012). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) também beneficiam o solo, promovendo a sua agregação graças à ação mecânica das hifas e à produção de uma glicoproteína de natureza hidrofóbica, denominada glomalina (Purin & Rillig, 2007).

Os FMA pertencem ao filo Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001) e são simbioses obrigatórios, necessitando de um hospedeiro vegetal vivo para completar seu ciclo de vida. Não apresentam especificidade hospedeira, mas são influenciados pelo hospedeiro vegetal (Pagano *et al.*, 2011) e também pelo solo (Oehl *et al.*, 2010), com alguns dos atributos edáficos inibindo a atividade desses fungos nos ecossistemas (Cardoso *et al.*, 2002; Mello *et al.*, 2012). Além da vegetação e do solo, variações temporais também atuam na atividade de fungos micorrízicos arbusculares (Silva *et al.*, 2001a; Mergulhão *et al.*, 2007).

Considerando que os FMA são influenciados por diversos fatores e que mais pesquisas principalmente em locais pouco estudados podem contribuir com mais esclarecimentos sobre a atividade dos FMA e funcionalidade da simbiose micorrízica, foram testadas as hipóteses que: (1) a atividade de FMA difere em locais com distintas condições edáficas e vegetacionais e é esperado que o local de maior riqueza de plantas apresente maior atividade desses fungos; (2) variações temporais influenciam os fungos micorrízicos arbusculares, com maior atividade desses fungos na estação de estiagem. Espera-se ampliar o conhecimento sobre a biologia dos FMA em áreas de gradiente ambiental estabelecido devido à mudança de altitude, variando de caatinga (floresta seca) a brejo de altitude (floresta úmida).

Materiais e Métodos

Área de estudo

O local de estudo fica situado em Triunfo, sertão de Pernambuco, em localidade conhecida como Carro Quebrado. Triunfo apresenta clima quente e úmido, vegetação constituída principalmente por florestas subcaducifólias, relevo forte-ondulado e montanhoso (IBGE, 2011; CPRM, 2005). Nos anos de estudo, a precipitação acumulada em Triunfo foi 1704 mm em 2011 e 301 mm em 2012 (APAC-<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>). A baixa pluviosidade em 2012 foi atípica considerando que esse Município apresenta média de precipitação em torno de 1.100 mm (APAC, 2013).

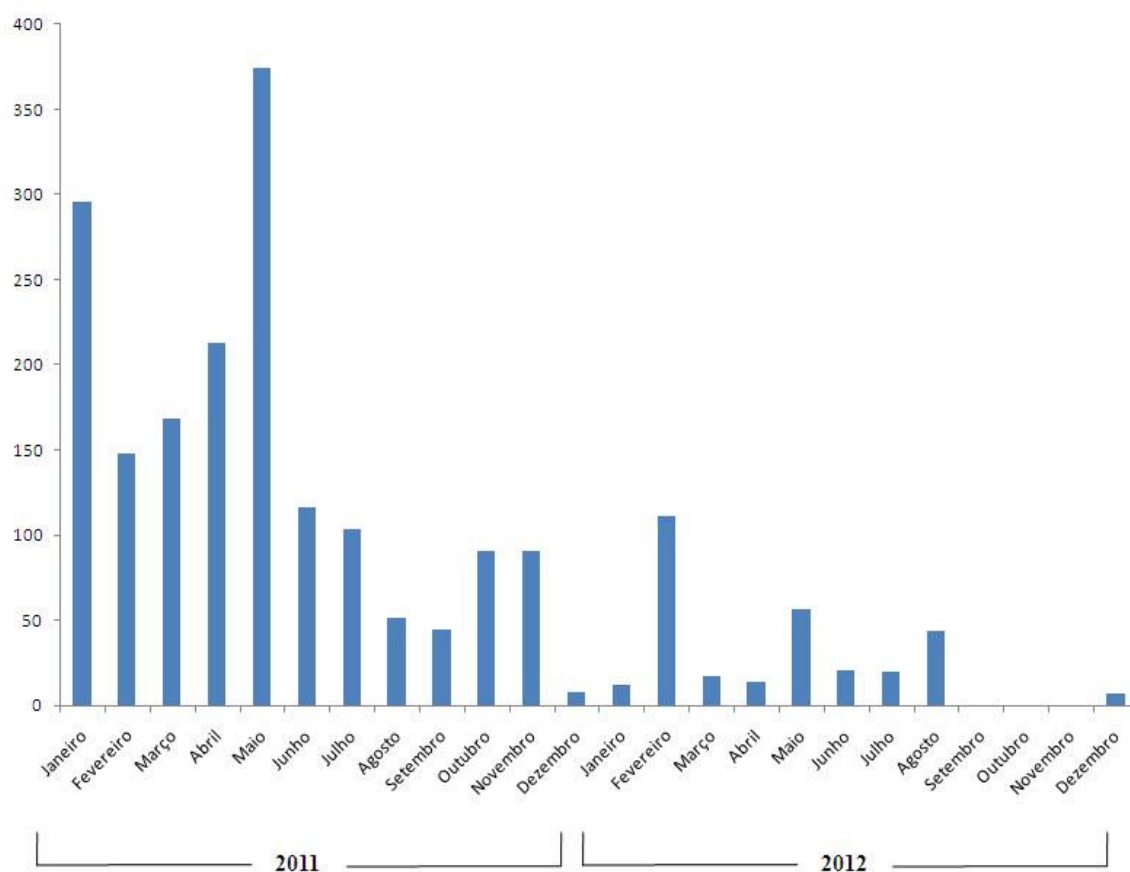


Figura 1. Precipitação nos anos de 2011 e 2012 no Município de Triunfo-PE. (APAC - <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>).

A localidade de Carro Quebrado fica no distrito de Canaã (07°52'36.30"S e 38°6'18.40"O), onde se encontra uma área com gradiente vegetacional e edáfico constituído por duas fitofisionomias e uma faixa de transição: caatinga *sensu stricto*

(floresta seca), faixa de transição caatinga-brejo e brejo de altitude (floresta úmida) (Figura 2).



Figura 2. Áreas de estudo, floresta seca (caatinga) nas estações (a) chuvosa e (b) seca, zona transicional nas estações (c) chuvosa e (d) seca e floresta úmida (brejo de altitude) nas estações (e) chuvosa e (f) seca, no Município de Triunfo-PE.

Brejos de altitude são ecossistemas de Mata Atlântica inseridos no agreste e sertão da região Nordeste, em serras com mais de 600 m de altitude. Esses ecossistemas

apresentam vegetação de porte arbóreo e arbustivo, solos com fertilidade elevada e maior disponibilidade de umidade quando comparados aos das caatingas circundantes.

O brejo estudado (7°52'29.42"S e 38°06'12.07"O) fica a 670 m de altitude e a vegetação é composta por representantes das famílias: Apocynaceae (2 espécies), Araliaceae (1), Boraginaceae (1), Capparaceae (2), Celastraceae (1), Chrysobalanaceae (1), Ebenaceae (1), Erythroxylaceae (2), Euphorbiaceae (4), Fabaceae (8), Malpighiaceae (1), Malvaceae (1), Meliaceae (1), Moraceae (1), Myrtaceae (2), Nyctaginaceae (1), Phyllanthaceae (1), Polygonaceae (2), Rhamnaceae (2), Rubiaceae (4), Rutaceae (1), Salicaceae (2), Sapindaceae (1), Sapotaceae (1), Schoepfiaceae (1), Ulmaceae (1) e Verbenaceae (1). A lista de espécies de plantas da floresta úmida encontra-se em Silva (2011) e é referente às espécies que apresentavam altura ≥ 1 m e diâmetro à altura do peito (DAP) ≥ 5 cm e/ou diâmetro ao nível do solo (DNS) ≥ 3 cm.

As plantas da caatinga *sensu stricto* possuem diversos mecanismos para suportar a seca e minimizar a perda hídrica, como folhas decíduas, espinhos, órgãos que armazenam água, microfilia e ceras nas folhas, possuem raízes profundas, e são bastante ramificadas, com abundância de galhos (Giulietti *et al.*, 2006). A área de estudo (7°52'45.29"S e 38°06'13.64"O) localiza-se a 570 m de altitude. A vegetação é constituída por espécies das famílias: Anacardiaceae (1), Boraginaceae (1), Euphorbiaceae (1), Fabaceae (4), Nyctaginaceae (1), Rhamnaceae (2), Schoepfiaceae (1) e Verbenaceae (1).

A faixa de transição caatinga-brejo (7°52'37.01"S e 38°06'16.59"O) encontra-se aproximadamente a 620 m de altitude e tem vegetação representada por espécies de Anacardiaceae (1), Apocynaceae (2), Araliaceae (1), Boraginaceae (1), Capparaceae (1), Chrysobalanaceae (1), Erythroxylaceae (1), Euphorbiaceae (3), Fabaceae (4), Malpighiaceae (1), Polygonaceae (1), Rhamnaceae (1), Rubiaceae (2), Schoepfiaceae (1) e Ulmaceae (1).

Coletas

Coletas foram realizadas em agosto de 2011 (final da estação chuvosa) e janeiro de 2012 (final da estação de estiagem). Em cada área foi definida uma parcela de 0,5 ha e coletadas aleatoriamente dez unidades amostrais compostas de cinco subamostras de aproximadamente 5kg de solo na profundidade de 0-20 cm, as quais foram trazidas para o Laboratório de Micorrizas/Universidade Federal de Pernambuco.

Análise do solo

Amostras de solo de cada área foram misturadas duas a duas, totalizando cinco amostras compostas de solo de cada área, por período de coleta, para determinação dos atributos físicos e químicos do solo realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina.

A umidade do solo foi determinada gravimetricamente após secagem de 2 g de solo em estufa (105 °C/24 h) e os valores expressos em percentagem (Debosz *et al.*, 1999). Para a determinação do nitrogênio total do solo, amostras foram digeridas e quantificadas por titulação segundo a metodologia de Kjeldahl (Thomas *et al.*, 1967). Para a análise dos outros atributos do solo foram utilizadas as metodologias descritas no ‘Manual de Análises Químicas para a Avaliação da Fertilidade do Solo’ (Embrapa, 1998).

Avaliação da colonização micorrízica

Para avaliação da colonização micorrízica nas plantas de cada área, raízes foram separadas do solo, lavadas com água, diafanizadas com KOH (10%) e coradas com azul de Trypan a 0,05% (Phillips & Hayman, 1970). Raízes muito pigmentadas foram clarificadas com H₂O₂ antes de serem coradas. Cem fragmentos de raízes, de cada ponto de coleta, foram montados entre lâmina e laminula e examinados ao microscópio, sendo estimado o percentual de raízes colonizadas (Giovannetti & Mosse, 1980).

Determinação das frações facilmente extraível (GFE) e total (GT) das proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG)

Para avaliação das concentrações de proteínas do solo relacionadas à glomalina, duas frações foram quantificadas (Wright & Upadhyaya, 1998): a fração facilmente extraível (GFE) foi obtida de 0,25 g de agregados do solo, que foram autoclavados (121 °C/ 30 min.) com 2 ml de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0), seguida de centrifugação (10000 g/5 min) e o sobrenadante armazenado (-4 °C). Para a extração da fração total (GT), foram adicionados 2 ml de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) ao sedimento resultante da centrifugação para extração da GFE, seguindo-se a extração em autoclave (121 °C/1h), por três vezes. Os sobrenadantes resultantes dos ciclos de extração foram centrifugados (10000 g/5 min), acondicionados em um único recipiente e armazenados em -4 °C. As frações de glicoproteína foram quantificadas pelo método de Bradford (1976), em espectrofotômetro

(595 nm), tendo como curva-padrão albumina soro bovina (BSA). Os dados foram expressos em mg de glomalina g⁻¹ de solo após correção dos volumes de extração.

Extração e quantificação de glomerosporos

Esporos de FMA isolados ou em esporocarpos foram extraídos de 100 g de solo seco de cada uma das amostras de solo pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguida por centrifugação em água e sacarose 50 % (Jenkins, 1964, modificado) e quantificados em lupa.

Determinação do número mais provável de propágulos infectivos de FMA

O NMP de propágulos infectivos de FMA no solo foi estimado de acordo com Feldmann & Idczak (1994). Para cada área foram montados três bioensaios, utilizando-se amostras compostas de solo das áreas, seco e peneirado, sendo esta a amostra base para as diluições (solo-inóculo). Foram montadas cinco repetições para cada nível de diluição e o controle foi representado por solo da área. Para a montagem da primeira diluição (1:10), foram utilizados 10 ml do solo-inóculo misturados a 90 ml de areia esterilizada (diluyente) e montadas as diluições subseqüentes, nas proporções de 1:100 e 1:1.000. Como planta isca foi usado milho (*Zea mays* L.). Para determinação do NMP, as raízes foram separadas e coradas com azul de Trypan (Phillips & Hayman, 1970) e observadas ao microscópio para verificação da presença de associação micorrízica, comprovada pela presença de arbúsculos, vesículas e/ou esporos. O NMP de propágulos infectivos de FMA foi obtido comparando-se os resultados com os dados da tabela de Cochran (1950).

Análises estatísticas

Para a análise estatística dos atributos químicos e físicos do solo foram consideradas três áreas (caatinga, faixa de transição e brejo de altitude), dois períodos (chuvoso e seco) e cinco repetições. Já para a análise dos dados micorrízicos foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, duas épocas de coleta e 10 repetições.

Foram verificadas a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias e quando necessário foram realizadas as devidas transformações. Em seguida, as variáveis foram submetidas a análises de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Também foram realizadas análises de correlação entre as variáveis do solo e os

teores de glomalina total e facilmente extraível, a percentagem de colonização micorrízica e os propágulos de FMA utilizando o coeficiente de Spearman (ρ). Essas análises foram realizadas com auxílio do programa BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007).

Os dados de densidade de glomerosporos, quantidade de propágulos infectivos de FMA, porcentagem de colonização micorrízica e teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina (frações facilmente extraível e total) foram ordenados usando a técnica multivariada “non-metric multidimensional scaling” (NMS) (Kruskal, 1964) com base na distância de Sørensen. Antes da ordenação, foi realizada a relativização dos dados da matriz primária (dados de atividade de FMA) na coluna para padronizar a escala das diferentes variáveis. Uma matriz secundária foi usada para correlacionar os atributos químicos e físicos com os resultados da atividade de FMA (matriz primária) para observação da relação entre as propriedades edáficas e os fungos micorrízicos arbusculares. A significância das correlações foi estimada em consulta à página do VassarStats (©Richard Lowry, 2011-2013, <http://vassar.net/rsig.html>).

Diferenças estatísticas da atividade dos FMA nas áreas foram analisadas usando o procedimento de permutação de multirespostas (MRPP, Mielke & Berry, 2000) com base na distância de Sørensen. MRPP é um teste estatístico multivariado e não paramétrico que testa diferenças entre grupos (Biondini *et al.*, 1985 apud Peixoto *et al.*, 2010).

O Mantel, que testa a hipótese de não existir relação entre matrizes (Douglas & Endler, 1982), foi utilizado para observar, pelo método de randomização de Monte Carlo, se há correlação entre a matriz de atividade de fungos micorrízicos arbusculares e a matriz de atributos físicos e químicos do solo, com base na distância de Sørensen. Todas as análises multivariadas (NMS, MRPP e Mantel) foram realizadas com auxílio do programa PC-ORD versão 5.0 (McCune & Mefford, 2006).

Resultados

Atributos físicos e químicos do solo

As áreas de brejo e transição apresentaram valores similares no teor de umidade e quantidade de areia no solo, diferindo da área de caatinga que apresentou umidade significativamente menor nas duas épocas de coleta (Tabela 1). Em relação à composição granulométrica, o solo das três áreas apresenta maior proporção de areia que de silte e

argila, sendo que na área de caatinga o solo apresenta maior teor de areia que nas demais áreas.

Tabela 1. Atributos físicos dos solos de caatinga (floresta seca), faixa transicional e brejo de altitude (floresta úmida), um gradiente ambiental no Município de Triunfo-PE.

Áreas	Umidade	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
%					
Período Chuvoso					
Caatinga	9,2b	58,0a	28,7b	13,4b	Franco-arenoso
Faixa transicional	21,1a	47,0b	35,0a	18,0a	Franco
Brejo de altitude	23,3a	46,9b	32,8ab	20,3a	Franco
Áreas	Umidade	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
%					
Período Seco					
Caatinga	3,3b	52,6a	33,1b	14,2b	Franco-arenoso
Faixa transicional	8,1a	47,6b	38,1a	14,2b	Franco
Brejo de altitude	10,1a	47,3b	34,5b	18,3a	Franco

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os solos das áreas são eutróficos, pois apresentam saturação por bases superior a 50% (Tomé Jr., 1997). Considerando os atributos químicos do solo, o pH é caracterizado como neutro e similar nas três áreas, assim como o teor de potássio e manganês (Tabela 2). O carbono e a matéria orgânica diferem estatisticamente entre o solo da caatinga e das áreas de brejo e transição. Apenas o ferro e umidade do solo apresentaram diferenças significativas entre as épocas de coleta.

Tabela 2. Atributos químicos dos solos de caatinga (floresta seca), faixa transicional e brejo de altitude (floresta úmida), um gradiente ambiental no Município de Triunfo-PE.

Áreas	pH H ₂ O	Ca	Mg	K	Na	CTC	P	N	Cu	Mn	Zn	C	MO	V
			cmolcdm ⁻³						mg dm ⁻³				%	
Período Chuvoso														
FS	7,2a	6,3b	0,8b	0,9a	0,03b	8,7b	50,6a	0,5b	0,2b	305a	11,4b	1,8b	3,0b	92a
ZT	7,0a	12,8a	2,2a	1,0a	0,04ab	17,9a	88,0a	0,8a	0,5b	396a	25,7a	3,3a	5,7a	89a
FU	7,0a	12,5a	1,8a	0,9a	0,04a	17,0a	85,4a	0,9a	1,6a	332a	25,6a	2,9a	5,0a	88a
Período Seco														
FS	6,9a	5,9b	0,8b	0,9a	0,03a	9,1b	17,4b	0,7a	0,4b	160a	7,5b	1,9b	3,2b	83b
ZT	7,1a	10,2a	1,5ab	1,0a	0,04a	14,4a	84,0a	0,7a	1,2a	420a	21,8a	3,1a	5,3a	88a
FU	6,9a	12,4a	1,8a	1,1a	0,04a	16,8a	96,0a	0,7a	0,8ab	395a	29,0a	3,2a	5,6a	90a

*Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Riqueza de espécies vegetais

Cinquenta e três espécies de plantas foram identificadas nas parcelas das três áreas de estudo; na caatinga registraram-se 12 espécies, na faixa de transição caatinga-brejo 22 espécies e na parcela estudada do brejo de altitude 47 espécies de plantas (Silva, 2011). As áreas de caatinga e de brejo apresentaram similaridade de espécies de plantas inferior a 20%, mas quando comparadas as espécies encontradas no brejo de altitude e na faixa de transicional a similaridade alcançou 40%.

Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares

A densidade de glomerosporos variou estatisticamente entre as áreas, com a caatinga apresentando maior média (> 150 esporos de FMA em 100 g⁻¹ de solo) e o brejo de altitude menor quantidade desses propágulos (< 30 esporos de FMA em 100 g⁻¹ de solo), independentemente do período de amostragem (estação chuvosa ou seca) (Figura 3a). Considerando a estação de coleta, maior número de esporos de FMA foi recuperado no período de estiagem para todas as áreas.

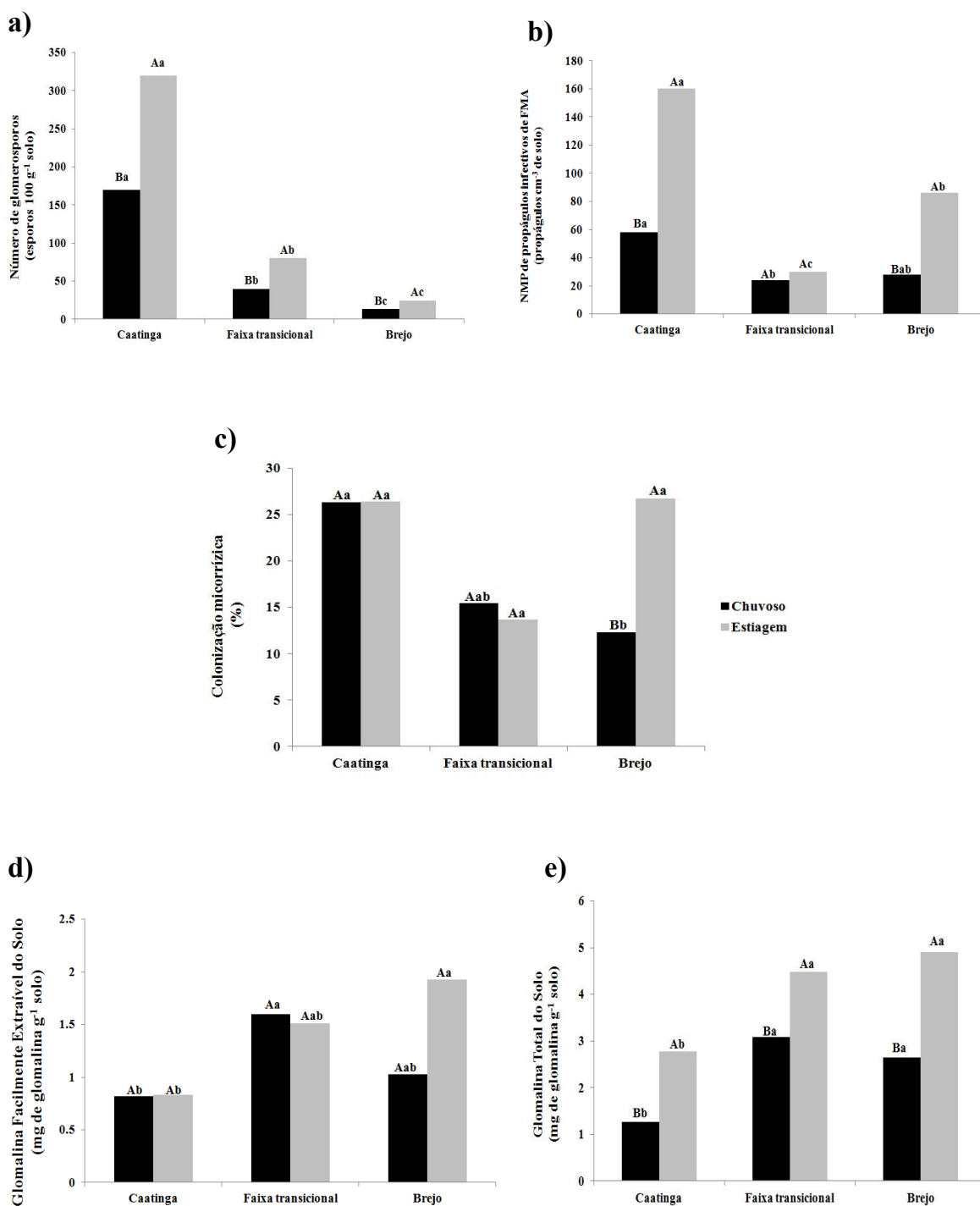


Figura 3. Número de glomerosporos (a), número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA (b), percentagem de colonização micorrízica de plantas (c), teores de glomalina facilmente extraível (d) e de glomalina total (e) em solos de caatinga, faixa transicional caatinga-brejo e brejo de altitude, gradiente ambiental na localidade de Carro Quebrado, Triunfo-PE. Colunas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os períodos dentro da mesma área e letras minúsculas comparam as áreas, no mesmo período.

Houve diminuição da densidade de glomerosporos, relacionada ao aumento da umidade do solo, com correlação negativa entre esses fatores ($\rho = -0,66$ e $p \leq 0,05$). A densidade de esporos também apresentou correlação significativamente negativa com o teor de cobre, zinco, manganês, fósforo, cálcio, magnésio, carbono, matéria orgânica, nitrogênio e argila do solo, e com a riqueza de plantas das áreas. Assim, mais glomerosporos foram quantificados na área de caatinga, enquanto na área do brejo de altitude, que apresentava maior riqueza de espécies vegetais e maior concentração de nutrientes, foi recuperada menor densidade desses propágulos. Apenas o pH e o teor de areia do solo foram positivamente relacionados com a quantidade de glomerosporos presentes nos solos dos locais estudados (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação, com base no coeficiente de Spearman (ρ), entre as variáveis estudadas ($p \leq 0,05$).

Variáveis	ESP	COL	NMP	GFE	GT
Fe	0,21ns	0,39*	0,76*	-0,58*	-0,54*
Cu	-0,80*	-0,15ns	-0,54*	0,19ns	0,60*
Zn	-0,75*	-0,29ns	-0,56*	0,13ns	0,65*
Mn	-0,36*	-0,12ns	-0,46*	0,22ns	0,53*
P	-0,63*	-0,18ns	-0,57*	-0,41*	0,64*
N	-0,50*	-0,16ns	0,09ns	-0,20ns	0,27ns
pH	0,43*	-0,03ns	0,13ns	-0,08ns	-0,13ns
K	-0,22ns	-0,09ns	-0,24ns	0,03ns	0,37*
Na	-0,67ns	-0,38*	-0,60*	0,22ns	0,45*
Ca	-0,67*	-0,39*	-0,67*	0,61*	0,70*
Mg	-0,66*	-0,22ns	-0,74*	0,44*	0,77*
C	-0,57*	-0,48*	-0,78*	0,36ns	0,68*
MO	-0,57*	-0,48*	-0,78*	0,36ns	0,68*
Umidade	-0,66*	-0,18ns	-0,59*	0,38*	0,62*
Areia	0,66*	0,43*	0,62*	-0,25ns	-0,55*
Silte	-0,35ns	-0,48*	-0,82*	0,57*	0,66*
Argila	-0,87*	-0,22ns	-0,45*	0,07ns	0,52*
Riqueza de Plantas	-0,91*	-0,25ns	-0,47*	0,09ns	0,64*
ESP	-	0,27ns	0,42*	0,10ns	-0,52*
COL	-	-	0,49*	-0,15ns	-0,27ns
NMP	-	-	-	-0,62*	-0,74*
GFE	-	-	-	-	0,59*

ESP=densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), COL=colonização micorrízica, NMP=número mais provável de propágulos infectivos de FMA, GFE=glomalina facilmente extraível do solo, GT= glomalina total no solo, MO=teor matéria orgânica do solo.

O número mais provável de propágulos infectivos variou entre os solos da caatinga e faixa de transição caatinga-brejo no período chuvoso, enquanto no período seco todas as áreas diferiram em relação à quantidade desses propágulos presentes nos solos (Figura 3b). Considerando a variação temporal, apenas para faixa de transição caatinga-brejo não houve

diferença estatística da quantidade de propágulos infectivos de FMA entre os períodos de coleta (chuvoso e seco).

Houve correlação positiva entre o NMP de propágulos infectivos de FMA e a concentração de ferro ($\rho = 0,76$ e $p \leq 0,05$) e areia do solo ($\rho = 0,62$ e $p \leq 0,05$). A maioria dos atributos edáficos que exerceram influência na densidade de esporos de FMA também atuaram igualmente na quantidade desses propágulos infectivos. Houve positiva correlação do NMP de propágulos infectivos de FMA com a densidade de glomerosporos e as percentagens de colonização micorrízica das plantas; esse tipo de correlação é esperado, uma vez que parte dos propágulos infectivos é constituída por esporos e raiz colonizada.

Para a colonização micorrízica das plantas, houve diferenças significativas entre as plantas da caatinga e do brejo de altitude no período chuvoso, com as plantas da caatinga apresentando maior percentual de colonização e as do brejo de altitude menor. No período seco não houve diferenças entre o percentual de colonização micorrízica nas três áreas (Figura 3c). Comparando os períodos de coleta, só houve diferenças dessa variável para as plantas do brejo de altitude, com as raízes coletadas na estação de estiagem apresentando-se mais colonizadas em relação às da estação chuvosa.

Seguindo o mesmo padrão observado para a densidade de esporos de FMA e a quantidade de propágulos infectivos presentes nos solos das áreas, os teores de ferro ($\rho = 0,39$ e $p \leq 0,05$) e a porcentagem de areia ($\rho = 0,43$ e $p \leq 0,05$) do solo influenciaram positivamente o percentual de colonização micorrízica por FMA, enquanto a concentração de, sódio, cálcio, carbono, matéria orgânica e silte do solo se correlacionaram negativamente com a porcentagem de colonização micorrízica (Tabela 3).

Houve diferença no teor de glomalina facilmente extraível do solo (GFE) no período chuvoso, entre as áreas de caatinga e faixa de transição caatinga-brejo, com maior concentração de GFE no solo da faixa transicional ($1,30 \text{ mg g}^{-1}$ de solo) e menor no da caatinga ($0,67 \text{ mg g}^{-1}$ de solo). No período de estiagem foram observadas diferenças entre as áreas de caatinga e brejo de altitude, com maior teor no solo do brejo de altitude ($1,93 \text{ mg g}^{-1}$ de solo) e menor no solo da caatinga ($0,83 \text{ mg g}^{-1}$ de solo) (Figura 3d). As variações temporais (períodos chuvoso e seco) não influenciaram a concentração dessa fração de glomalina nas áreas.

Dentre os atributos edáficos, apenas os teores de ferro ($\rho = -0,58$ e $p \leq 0,05$), fósforo ($\rho = -0,41$ e $p \leq 0,05$) e se correlacionaram negativamente com a quantidade de GFE dos

solos das áreas; enquanto que o teor de cálcio, magnésio, silte e a umidade do solo apresentaram interação positiva com a GFE (Tabela 3).

A fração total de PSRG diferiu significativamente entre o solo da área de caatinga e o das demais áreas, nos dois períodos avaliados, com menor concentração dessa fração no solo de caatinga independentemente da estação de coleta (Figura 3e). Houve influência temporal na concentração de PSRG, com maior valor no solo coletado na estação seca, em todas as áreas.

A fração de GT do solo se correlacionou positivamente com a de GFE do solo, com a riqueza de espécies vegetais, teores de cobre, zinco, sódio, manganês, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, carbono, matéria orgânica, percentagem de umidade, silte e argila do solo, enquanto a densidade de glomerosporos, o número de propágulos infectivos, a concentração de ferro e a percentagem de areia do solo foram negativamente correlacionadas com as PSRG (Tabela 3).

Com base na ordenação NMS foi possível representar 96% do total de variância dos dados em um plano bidimensional, com a maioria da variabilidade associada ao eixo 1 (79%) (Figura 4). Todos os dados de atividade de FMA avaliados foram significativamente relacionados com os eixos de ordenação (Tabela 4).

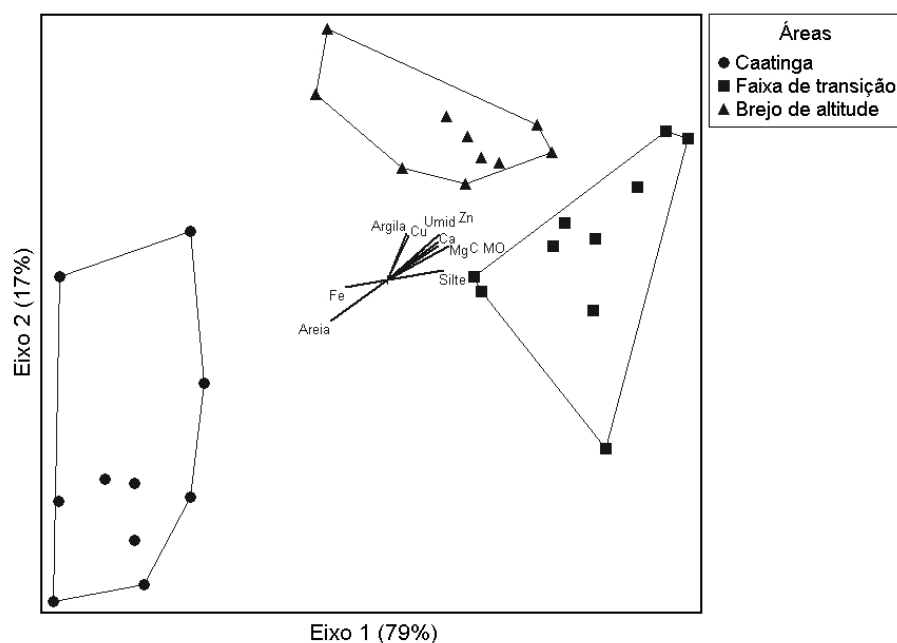


Figura 4. NMS baseado nos propágulos de FMA e frações de proteínas do solo relacionadas à glomalina correlacionado com os atributos físicos e químicos do solo de caatinga, faixa de transição caatinga-brejo e caatinga, gradiente ambiental, em Triunfo-PE. Os dados entre parênteses correspondem à variabilidade explicada pelos parâmetros associados a cada eixo.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre os propágulos de FMA e frações (GFE e GT) de PSRG e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 4).

Variáveis	Coeficientes de Correlação	
	Eixo 1 - NMS	Eixo 2 - NMS
Glomerosporos	-0,75*	-0,94*
NMP	-0,86*	-0,73*
Colonização	-0,70*	-0,46**
GFE	0,77*	0,34***
GT	0,86*	0,57*

*significante a 0,1%; ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.

As variáveis do solo também foram correlacionadas estatisticamente com os eixos (Tabela 4) e alguns desses foram fortemente associados à atividade de FMA nas áreas. Na caatinga, as variáveis edáficas que apresentaram maior interação com a produção de propágulos de FMA e teor de PSRG no solo da área foram o teor de areia e de ferro do solo; na faixa de transição caatinga-brejo a atividade dos FMA foi correlacionada, sobretudo, ao teor de silte, magnésio, carbono e matéria orgânica do solo; no brejo de altitude, a concentração de cálcio, zinco, cobre, percentagem de argila e umidade do solo foram os atributos mais associados à atividade de FMA no local (Figura 7).

Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as variáveis do solo e escores dos Eixos 1 e 2 de ordenação (Figura 4).

Variáveis	Coeficientes de Correlação	
	Eixo 1 - NMS	Eixo 2 - NMS
Fe	-0,73*	-0,31***
Cu	0,52**	0,75*
Zn	0,81*	0,76*
Mn	0,45**	0,49**
P	0,68*	0,50**
N	0,46**	0,46**
pH	-0,03ns	-0,48**
K	0,35***	0,29ns
Na	0,45**	0,57*
Ca	0,80*	0,66*
Mg	0,80*	0,69*
C	0,88*	0,66*
M.O.	0,88*	0,66*
Umidade	0,68*	0,64*
Areia	-0,85*	-0,73*
Silte	0,84*	0,35***
Argila	0,49**	0,77*

*significativo a 0,1%; ** significativo a 1%; *** significativo a 5%; ns: não significativo; M.O.: matéria orgânica do solo.

O teste MRPP revelou diferenças da atividade de FMA entre as três áreas de estudo (Tabela 6) e entre as épocas de coleta ($p \leq 0,01\%$). Diferenças estatísticas também foram detectadas entre a matriz de propágulos de FMA e teor de PSRG e a matriz de propriedades químicas e físicas do solo ($r = 0,49$ e $p \leq 0,001\%$), baseado no teste de Mantel.

Tabela 6. Significância por comparações dos dados de atividade de FMA entre as áreas: caatinga (CA), faixa de transição caatinga-brejo (FT) e brejo de altitude (BA), com base no teste estatístico MRPP.

	CA	FT	BA
CA	-	0,01%	0,01%
FT		-	0,01%
BA			-

Discussão

As áreas apresentaram solos férteis diferente do comumente relatado para a região semiárida brasileira que, de modo geral, apresenta menor quantidade de fósforo e carbono, segundo revisão realizada por Menezes *et al.* (2012). Em áreas de caatinga, em Minas Gerais (Pagano *et al.*, 2011), em Alagoas (Souza *et al.*, 2003) e em Pernambuco (Mergulhão *et al.*, 2007), foram registradas baixo teor de P no solo, contudo semelhante aos encontrados nesse estudo, Silva *et al.* (2001a) registraram altas concentrações de fósforo, cálcio e magnésio em área de caatinga na Bahia. Para a área de brejo de altitude é reportado que estes ecossistemas, em geral, apresentam solos férteis (Ferraz *et al.*, 1998) profundos e argilosos (Theulen, 2004).

Este constitui o primeiro estudo sobre a atividade de FMA em solos ao longo de um gradiente ambiental na Caatinga e os resultados fornecem evidências claras da importância, sobretudo, dos atributos edáficos bem como da vegetação para entendimento do papel desses micro-organismos no ambiente. Essa forte relação, possivelmente, é devido à evolução dos FMA, do solo e das plantas.

Outros estudos foram realizados no Brasil em locais de sucessão vegetal, em áreas de Mata Atlântica (Aidar *et al.*, 2004; Zangaro *et al.*, 2012a,b), Pantanal (Zangaro *et al.*, 2012b) e Floresta Amazônica (Stürmer & Siqueira, 2011) e retrataram a influência da vegetação na esporulação de FMA e colonização micorrízica. O solo também foi referido como um importante influenciador de FMA, considerando que pode afetar a atividade

(colonização e número de esporos) desses fungos como observado em estudo realizado em 16 locais da Europa Central (Oehl *et al.*, 2010).

A densidade de glomerosporos progressivamente diminuiu do solo da caatinga para o brejo de altitude. A quantidade de esporos registrada na área de caatinga se enquadra no comumente relatado para o semiárido brasileiro (Maia *et al.*, 2010). Na área de brejo, a menor densidade de esporos deve estar associada ao estágio de maturidade vegetacional, o que também foi mencionado em outros estudos sobre FMA em florestas maduras (Picone, 2000; Zangaro *et al.*, 2012a,b).

Em geral, espécies vegetais de florestas maduras apresentam taxa de crescimento mais lento e, possivelmente, a demanda pela associação micorrízica é relativamente menor em comparação as espécies vegetais típicas de Caatinga. Um dos fatores relacionados a esse crescimento lento de espécies vegetais é a diminuição da taxa fotossintética associada ao menor recebimento de luz devido ao sombreamento das copas das árvores (Lusk *et al.*, 2008); com isso ocorre menor fluxo de carbono para as raízes resultando em menor disponibilidade nutricional para os FMA (Zangaro *et al.*, 2012a). Como esses fungos são simbioses obrigatórios, necessitando de um hospedeiro vivo para completar o ciclo de vida (Smith & Read, 2008), a escassez de carboidratos pode influenciar a atividade desses micro-organismos (Zangaro *et al.*, 2012b).

Além das diferenças entre os grupos vegetais funcionais, variações temporais atuam na atividade dos FMA, fato também relatado para uma área semiárida da China (Su *et al.*, 2011). No presente estudo, maior quantidade de esporos de FMA foi recuperada durante a estação de estiagem, assim como mencionado para florestas tropicais da Costa Rica (Lovelock *et al.*, 2003) e do México (Guadarrama & Álvarez-Sánchez, 1999). A maior esporulação dos FMA na estação seca pode representar uma estratégia de resistência ou adaptação que possibilita aos FMA sobreviver em condições limitantes de água (Silva *et al.*, 2001a; Souza *et al.*, 2003; Lugo *et al.*, 2005).

De acordo com Zangaro *et al.* (2012a), maior densidade de glomerosporos geralmente ocorre na estação de menor desenvolvimento vegetal, que corresponde ao período de estiagem. Isso pode estar associado ao fluxo de carbono para o fungo, que pode produzir esporos e completar o ciclo de vida. Contudo, na estação chuvosa os FMA também têm acesso ao carbono para que possa ocorrer crescimento micelial que favorecerá seus hospedeiros vegetais com a disponibilização, principalmente, de fósforo.

Na Caatinga, especificamente, as plantas caducifólias direcionam os nutrientes das folhas para as raízes como forma de estratégia para evitar a perda nutricional na estação de estiagem. No presente estudo, houve maior esporulação na estação de seca, inclusive para as plantas do brejo de altitude que apresentam, em geral, folhas decíduas. Esse fato deve estar relacionar, sobretudo, com a importância dos FMA em aumentar o aporte hídrico das plantas. Além da disponibilização de água, plantas micorizadas apresentam maior eficiência hídrica (Birhane *et al.*, 2012) e melhor resposta ao estresse hídrico associada ao rígido controle estomático que possibilita menores taxas de transpiração e melhor (Cavalcante *et al.*, 2001).

A menor densidade de glomerosporos registrada na área de maior riqueza de plantas também foi relatada em experimento realizado por Antoninka *et al.* (2011) e os autores concluíram que, além das plantas hospedeiras, os recursos nutricionais do solo, o tempo e heterogeneidade espacial, dentre outros fatores devem ter influenciado os resultados. No caso do presente estudo os resultados devem, possivelmente, estar associados a outros fatores, como os atributos edáficos, e não precisamente à riqueza de plantas nas áreas, uma vez que o solo é um importante influenciador dos FMA, com alguns dos seus atributos ativando ou inibindo a atividade desses fungos.

A maioria dos atributos avaliados foi negativamente correlacionada com a densidade de esporos de FMA (Tabela 3), apenas o pH, o teor de ferro e a porcentagem de areia no solo apresentaram relação positiva com a quantidade de esporos. Embora o ferro seja um micronutriente que afeta a micorrização e quando presente em alta concentração torna-se fungistático (Hepper, 1979 apud Santos & Carrenho, 2011), a elevada concentração desse elemento nos solos das áreas ($> 13 \text{ mg kg}^{-1}$; Tomé Jr., 1997) foi positivamente associada à quantidade de glomerosporos.

Correlação positiva entre o número de glomerosporos e a porcentagem de areia do solo é um fato comumente observado (Aliasgharzadeh *et al.*, 2001; Soumaila *et al.*, 2012), enquanto que a porcentagem de argila é relacionada negativamente com o número de esporos de FMA (Aliasgharzadeh *et al.*, 2001; Mohammad *et al.*, 2003).

Considerando que alta disponibilidade de nutrientes, principalmente P, reduz a atividade dos FMA, a alta concentração de fósforo, magnésio, cálcio, e matéria orgânica do solo interagiram negativamente com a densidade de esporos de FMA; a influência negativa desses fatores também foi relatada em outros estudos (Aliasgharzadeh *et al.*, 2001; Mingui *et al.*, 2012; Soumaila *et al.*, 2012).

O teor de umidade do solo também foi um dos fatores negativamente associado com a densidade de esporos de FMA, provavelmente porque a esporulação pode ser uma estratégia dos FMA em condições limitantes de umidade. Semelhante ao observado, também houve correlação negativa entre essas variáveis em trabalho realizado em zona árida, na Argentina (Lugo *et al.*, 2005), no semiárido da China (Wu *et al.*, 2011) e em uma área do Pará (Chu & Diekmann, 2002). Segundo Wu *et al.* (2011), é forte a influência da umidade do solo nos FMA em regiões semiáridas. Logo, este é um atributo do solo que deve ser considerado quando estudada a atividade dos FMA nos diversos ecossistemas.

A quantidade de propágulos infectivos de FMA presente nos solos das áreas tem sido referida para outros locais de Caatinga, onde se registrou de 5,1 a 540 propágulos em 100 g de solo (Silva *et al.*, 2001a; Mergulhão *et al.*, 2007). A menor quantidade de propágulos de FMA no solo do brejo de altitude e da área de interface brejo-caatinga pode estar associada à maior estabilidade e menor estresse ambiental dessas áreas. Em um solo sob floresta madura no México também foram quantificados baixo número de propágulos infectivos de FMA (sete propágulos em 100 ml de solo) (Ramos-Zapata *et al.*, 2011).

No caso dos atributos edáficos, foi referida a influência negativa do manganês, cobre e zinco na germinação, crescimento micelial e consequente colonização micorrízica (Moreira & Siqueira, 2006) e neste estudo foi detectada correlação negativa desses elementos com a densidade de glomerosporos e NMP de propágulos infectivos, no entanto, não houve interação desses elementos e a percentagem de colonização micorrízica.

A média de colonização micorrízica das plantas das áreas não ultrapassou 30%. Dados relativos a plantas de Caatinga mostram que em geral a média de colonização é inferior a 50% (Maia *et al.*, 2010). Vários fatores influenciam a colonização micorrízica, como as características do solo, o tipo de FMA envolvido, a idade e fisiologia da planta. Dependendo da relação entre esses fatores é possível encontrar baixa variação da porcentagem de colonização micorrízica entre plantas de uma mesma área, como relatado em local semiárido da Espanha, onde a colonização variou de 49,7 a 66,7% (Sánchez-Castro *et al.*, 2012), ou alta variação, como registrado no semiárido de Alagoas, com algumas plantas não apresentando colonização micorrízica e outra apresentando cerca de 80% de raiz colonizada por FMA (Souza *et al.*, 2003). Como dentro de uma mesma área e no mesmo período de coleta pode haver grande variação na taxa de colonização, era de se esperar que plantas de distintos ecossistemas também apresentassem diferenças

significativas na colonização micorrízica, o que efetivamente ocorreu nas raízes coletadas durante a estação chuvosa.

Considerando as épocas de coleta, a variação temporal tem sido mencionada como influenciando a colonização micorrízica porque implica em diferenças na umidade, um importante fator para a germinação dos propágulos de FMA e consequente colonização. No presente estudo, apenas na área de brejo de altitude ocorreu um aumento significativo do percentual de colonização das plantas por FMA associada à estiagem. Isso sugere que nas condições de limitação hídrica as espécies desse ecossistema utilizam a associação como forma de suportar a falta de água. Nas demais áreas estudadas, como igualmente mencionado em região árida na Argentina (Lugo *et al.*, 2005), o percentual de colonização manteve-se constante nos períodos seco e chuvoso.

Assim como o registrado no presente estudo, também houve correlação negativa entre os percentuais de colonização micorrízica e a matéria orgânica do solo em uma área de Floresta Atlântica em São Paulo (Aidar *et al.*, 2004). Além da matéria orgânica, o teor de, sódio, cálcio e carbono do solo apresentaram interação negativa com a colonização radicular por FMA sugerindo que a fertilidade edáfica também influencia a associação fungo-planta, com as concentrações desses nutrientes nos solos limitando a colonização das plantas por FMA.

A ausência de relação ou a correlação negativa das PSRG com a densidade de esporos, o número de propágulos e a colonização micorrízica não eram esperados, considerando que a glomalina faz parte da parede das hifas e dos esporos de FMA (Wright *et al.*, 1996). Esperava-se, portanto, maior concentração de PSRG na área de caatinga, onde se encontrou maior quantidade de propágulos. Contudo, outros fatores influenciam a produção dessas proteínas, como as espécies de FMA, que apresentam diferentes potenciais de produção de PSRG, a relação dos fungos com a vegetação e os atributos edáficos (Lovelock *et al.*, 2004; Wright *et al.*, 1996) e podem ter colaborado para os resultados observados.

A avaliação da quantidade de micélio extrarradicular de FMA, se incluída nas análises, poderia contribuir para esclarecer os dados obtidos nas três áreas. Sugerindo-se que nos próximos trabalhos seja realizada essa avaliação para melhor compreensão da presença de PSRG nos ecossistemas.

Uma hipótese que segundo Sousa *et al.* (2012) deve ser considerada é que, embora os estudos sobre FMA tenham avançado consideravelmente, até hoje não foi possível

quantificar apenas a glomalina do solo, sendo possível que a fração de glomalina presente nas PSRG quantificadas seja mínima e, portanto explicaria a falta de correlação entre os propágulos de FMA e as quantidades de PSRG encontradas. Lutgen *et al.* (2003), também não detectaram correlação entre PSRG e as variáveis de FMA (colonização micorrízica e micélio extrarradicular) em trabalho realizado nos Estados Unidos e sugerem cautela ao se usar PSRG como indicadoras da atividade de FMA. Levando em conta essa premissa e pelo observado, consideramos que realmente as análises com PSRG são importantes, mas devem ser complementares a outras análises da atividade de FMA.

Mesmo com aumento considerável da quantidade de GFE no solo coletado no período seco na área de brejo de altitude em relação ao coletado na época chuvosa, não houve diferença estatística na produção dessas proteínas em qualquer das áreas. Ao contrário, houve influência temporal na fração total de PSRG, significativamente maior na estação seca. Resultados semelhantes, com diferença significativa da fração total de glomalina também foi registrado por Lutgen *et al.* (2003) .

A diferença significativa na atividade dos FMA entre as áreas deve ter sido fruto da influência das características locais, principalmente dos atributos do solo, que explicaram 96% da variância dos dados. Outros estudos têm demonstrado que o solo é forte influenciador dos FMA (Oehl *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2012).

Diferença na atividade de FMA relacionada às variações temporais foi registrada em outras áreas semiáridas do Brasil (Mergulhão *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2001a). No brejo de altitude houve maior atividade de FMA na estiagem comparada à estação chuvosa (maior percentual de colonização micorrízica, densidade de glomerosporos, quantidade de propágulos infectivos e PSRG).

A formação da associação com as plantas é essencial para os FMA, contudo no caso das plantas nem sempre isso se faz necessário. O estabelecimento da associação pode significar uma estratégia das plantas para suportar o estresse da seca, considerando que além do benefício nutricional os FMA também contribuem para aumento da disponibilidade de água (Augé *et al.*, 2001). No caso da área de brejo, a influência da variação temporal na atividade dos FMA pode ter sido relacionada ao fato de, nessa área, as plantas não apresentarem, como as da caatinga, adaptações morfológicas e fisiológicas para resistir à seca (Pôrto *et al.*, 2004; MMA, 2010b).

Os resultados indicam que a atividade dos FMA nas áreas de estudo é influenciada, sobretudo, pelo solo. Além disso, variações temporais também atuam na atividade de FMA

Silva, I.R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente...

e em brejos de altitude a associação micorrízica é particularmente importante para que as plantas desse ecossistema suportem as limitações hídricas do período de estiagem.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A diversidade de FMA em gradientes vegetacionais na Caatinga varia devido à mudança das características do solo e do tipo vegetacional. Além da vegetação e do solo, variações temporais também influenciam a produção de propágulos e a composição das comunidades de FMA, com a estação seca representando o período de maior atividade desses fungos nas áreas estudadas.

A distribuição dos propágulos de FMA, a colonização micorrízica e a produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina nas áreas estudadas são influenciadas, principalmente, pelos atributos do solo (especialmente ferro, cobre, zinco, cálcio, magnésio, carbono, matéria orgânica, umidade, areia, argila e silte).

Áreas geograficamente próximas abrigam distintas comunidades de FMA devido à influência das características bióticas e abióticas dos locais, com representantes de *Glomus* predominando no solo do brejo de altitude, enquanto espécies de *Acaulospora* predominam no solo de caatinga *sensu stricto*.

Com a realização desse estudo foi possível ampliar o conhecimento sobre a riqueza de espécies de FMA na Caatinga (*Acaulospora dilatata*, *A. sieverdingii* e *Fuscutata rubra*) e no Brasil (*Acaulospora minuta* e *A. splendida*). Além disso, pelo menos três possíveis novas espécies para a ciência estão sendo avaliadas.

Mesmo amostrando mais de 60% da riqueza de FMA, a curva de acumulação de espécies não estabilizou indicando que a continuidade dos estudos nesse gradiente vegetacional e em outras áreas da Caatinga, pode contribuir significativamente para ampliação do conhecimento sobre a diversidade de FMA no semiárido brasileiro. Os dados gerados sobre a biodiversidade desse bioma podem contribuir para a criação de políticas públicas mais eficazes de conservação e preservação dos recursos biológicos da Caatinga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R.L.F., Salcedo, I.H., Carrenho, R. 2008. Biologia de fungos micorrízicos arbusculares em área de brejo sob distintos usos do solo. In: Menezes, R.S.C., Sampaio, E.V.S.B., Salcedo, I.H. (eds.). *Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido*. Recife, UFPE, pp. 281-291.
- Aidar, M.P.M., Carrenho, R., Joly, C.A. 2004. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an Atlantic Forest Chronosequence Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. *Biota Neotropica* 4: 1–15.
- Alencar, M.T. 2010. Caracterização da macrorregião do Semiárido Piauiense. In: Sousa e Silva, C.M., Lima, E.S., Cantalice, M.L., Alencar, M.T., Silva, W.A.L. (eds.). *Semiárido Piauiense: Educação e Contexto*. Campina Grande, Triunfal Gráfica e Editora, pp. 15–34.
- Alguacil, M.M., Torrecillas, E., Roldán, A., Díaz, G., Torres, M.P. 2012. Perennial plant species from semiarid gypsum soils support higher AMF diversity in roots than the annual *Bromus rubens*. *Soil Biology & Biochemistry* 49: 132–138.
- Aliasgharzadeh, N., Rastin, N.S., Towfighi, H., Alizadeh, A. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils of the Tabriz Plain of Iran in relation to some physical and chemical properties of soil. *Mycorrhiza* 11: 119–122.
- Alves, L.J. Efeito da fragmentação florestal sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares da Floresta Atlântica do extremo sul da Bahia. 2004. *Dissertação (Mestrado em Ecologia e Biomonitoramento)* – Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Andrade, L.A., Oliveira, F.X., Nascimento, I.S., Fabricante, J.R., Sampaio, E.V.S.B., Barbosa, M.R.V. 2006. Análise florística e estrutural de matas ciliares ocorrentes em brejo de altitude no município de Areia, Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 1: 31–40.
- Antoninka, A., Reich, P.B., Johnson, N.C. 2011. Seven years of carbon dioxide enrichment, nitrogen fertilization and plant diversity influence arbuscular mycorrhizal fungi in a grassland ecosystem. *New Phytologist* 192: 200–214.
- APAC – Agência Pernambucana de Água e Clima. Climatologia da precipitação mensal (mm), 2013. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/>>. Acesso fevereiro de 2013.
- Augé, R.M., Stodola, A.J.W., TiFS, J.E., Saxton, A.M. 2001. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant & Soil* 230: 87–97.
- Ayres, J.M., Fonseca, G.A.B., Rylands, A.B., Queiroz, H.L., Pinto, L.P., Masterson, D., Cavalcanti, R.B. 2005. *Os Corredores Ecológicos das Florestas Tropicais do Brasil*. Rio de Janeiro, Sindicato nacional dos editores de livros.
- Ayres, M., Ayres, Júnior M., Ayres D.L., Santos, A.S. 2007. BioEstat 5.0: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. Belém, Sociedade Civil Mamirauá/CNPq.
- Barto, E.K., Alt, F., Oelmann, Y., Wilcke, W., Rillig, M.C. 2010. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 2316–2324.
- Begon, M., Townsend, C.R., Harper, J.L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Oxford, Blackwell Publishing, 4th edn.
- Birhane, E., Sterck, F.J., Fetene, M., Bongers, F., Kuyper, T.W. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of

- frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia* 169: 895–904.
- Błaszowski, J. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), *Endogone* and *Complexipes* species deposited in the Department of Plant Pathology, University of Agriculture in Szczecin, Poland. Disponível em: <<http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/>>. Acesso em: 23 agosto 2012.
- Błaszowski, J., Chwat, G. 2013. Septoglomus deserticola emended and new combinations in the emended definition of the family Diversisporaceae. *Acta Mycologica* 48: 89–103.
- Bonfante, P., Genre, A. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant – fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature communications* 1: 1–11.
- Bonfim, J.A., Matsumoto, S.N., Lima, J.M., César, F.R.C.F., Santos, M.A.F. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. *Bragantia* 69: 201–206.
- Bonfim, J.A. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas restauradas de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil. 2011. 92f. *Dissertação (Mestrado em Ciências)* – Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Borba, M.F., Amorim, S.M.C. 2007. Fungos micorrízicos arbusculares em Sempre-Vivas: subsídio para cultivo e replantio em áreas degradadas. *Revista de Biologia e Ciências da Terra* 7: 20–27.
- Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248–254.
- Bressan, W., Vasconcellos, C.A. 2002. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 509–517.
- Brower, J.E., Zar, J.H. 1984. Community similarity. In: Brower, J.E., Zar, J.H. (eds). *Field and laboratory methods for general ecology*, 3rd edition. W.C. Brown Publishers, Dubuque.
- Brundrett, M. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: Begon, M.; Fitter, A.H.; Macfadyen, A. (eds.). *Advances in ecological research*. London, Academic Press, pp. 171–314.
- Burrows, R.L., Pfleger, F.L. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. *Canadian Journal of Botany* 80: 120–130.
- Calixto Júnior, J.T., Drumond, M.A. 2011. Estrutura fitossociológica de um fragmento de Caatinga *sensu stricto* 30 anos após corte raso, Petrolina-PE, Brasil. *Revista Caatinga* 24: 67–74.
- Caproni, A.L., Franco, A.A., Berbara, R.L.L., Granha, J.R.D.O., Ribeiro, E.M.S., Saggin Júnior, O.J. 2003. Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 937–945.
- Cardoso, E.J.B.N., Navarro, R.B., Nogueira, M.A. 2002. Manganês e germinação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares in vitro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 26: 795–799.
- Cardozo Júnior, F.M. Dinâmica e biodiversidade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes áreas sob influência do processo de desertificação em Gilbués/Brasil. 2010. 54 f. *Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)* – Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus.

- Carneiro, R.F.V., Cardozo Júnior, F.M., Pereira, L.F., Araújo, A.S.F., Silva, G.A. 2012. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. *Revista Ciência Agronômica* 43: 648–657.
- Carrenho, R., Gomes-da-Costa, S.M. 2011. Environmental degradation impact on native communities of arbuscular mycorrhizal fungi in an urban fragment of semideciduous plateau forest. *Acta Botanica Brasilica* 25: 373–379.
- Carvalho, F., de Souza, F.A., Carrenho, R., Moreira, F.M.S., Jesus, E.C., Fernandes, G.W. 2012. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology* 52: 9–19.
- Cavalcante, U.M.T., Maia, L.C., Nogueira, R.J.M.C., Santos, V.F. 2001. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. Flavicarpa deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico. *Acta Botanica Brasilica* 15: 379–390.
- Cavalcanti, D., Tabarelli, M. Distribuição das Plantas Amazônico-Nordestinas no Centro de Endemismo Pernambuco: Brejos de Altitude vs. Florestas de Terras Baixas. 2004. In: Pôrto, K.C., Cabral, J.J.P., Tabarelli, M. (eds.). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, pp. 285-296.
- Chu, E.Y., Diekmann, U. 2002. Efeitos de usos alternativos do solo sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares na Amazônia. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 16).
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. 2006. PRIMER v6: user manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
- Cochran, W.G. 1950. Estimation of bacterial densities by means of the most probable number. *Biometrics* 6: 105–116.
- Coutinho, L.M. 2006. O conceito de bioma. *Acta Botanica Brasilica* 20: 13–23.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Triunfo, estado de Pernambuco. Mascarenhas, J.C., Beltrão, B.A., Souza Junior, L.C., Galvão, M.J.T.G., Pereira, S.N., Miranda, J.L.F. (eds.). Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p.
- Dandan, Z., Zhiwei, Z. 2007. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the hot-dry valley of the Jinsha River, southwest China. *Applied Soil Ecology* 37: 118–128.
- Das, A., Varma, A. 2009. Symbiosis: the art of living. In: Varma, A.; Kharkwal, A.C. (eds.). *Symbiotic fungi - principles and practice*. Amity Institute of Microbial Technology, India, pp. 1-28.
- Debosz, K., Ramussen, P.H., Pedersen, A.B. 1999. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology* 13: 209–218.
- de Souza, F.A., Declerck, S. 2003. Mycelium development and architecture, and spore production of *Scutellospora reticulata* in monoxenic culture with Ri T-DNA transformed carrot roots. *Mycologia* 95: 1004–1012.
- de Souza, F.A., Kowalchuk, G.A., Leeflang, P., van Veen, J., Smit, E. 2004. Intraspecies 18S rRNA gene sequence heterogeneity is an accurate and sensitive method to assess species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of the Genus *Gigaspora*. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 1413–1424.
- de Souza, F.A., Stürmer, S.L., Carrenho, R., Trufem, S.F.B. 2010. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. 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, pp. 15-73.

- Douglas, M.E., Endler, J.A. 1982. Quantitative matrix comparisons in ecological and evolutionary investigations. *Journal of Theoretical Biology* 99: 777–795.
- Dufrêne, M., Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345–366.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1998. *Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo*. Embrapa Solos. Silva, F.C., Eira, P.A., Barreto, W.O., Pérez, D.V., Silva, C.A. (eds.), Brasília. 40p.
- Feldmann, F., Idczack, E. 1994. Inoculum production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for Use in tropical nurseries. In: Norris, J.R., Read, D.J., Varma, A.K. (eds.) *Techniques for mycorrhizal research*. San Diego, Academic Press, pp. 799–817.
- Ferraz, E.M.N., Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S.B., Pereira, R.C.A. 1998. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Botânica* 21:7–15.
- Ferreira, A.C.A. Ecologia e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga. 2011. 92 f. *Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos)* – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Finlay, R.D. 2004. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist* 18: 91–96.
- Finlay, R.D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany* 59: 1115–1126.
- Folli-Pereira, M.S., Meira-Haddad, L.S., Bazzolli, D.M.S., Kasuya, M.C.M. 2012. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1663-1679.
- Freitas, N.O. Fragmentação de Mata Atlântica em Pernambuco: impacto sobre os fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) e a atividade microbiana do solo. 2010. 127 f. *Tese (Doutorado em Biologia de Fungos)* – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Gai, J.P., Christie, P., Feng, G., Li, X.L. 2006. Twenty years of research on community composition and species distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in China: a review. *Mycorrhiza* 16: 229–239.
- Gerdemann, J.W., Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society* 46: 235–244.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M.N., van Tuinen, D., Redecker, D., Wipf, D. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519–530.
- Giovanetti, M., Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in Roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- Giullietti, A.M., Conceição, A., Queiroz, L.P. 2006. *Diversidade e caracterização das fanerógamas do semi-árido brasileiro*. Recife, Associação Plantas do Nordeste.
- Goto, B.T., Maia, L.C. 2006. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon* 96: 129–132.
- Goto, B.T., Maia, L.C., Silva, G.A., Oehl, F. 2009. *Racocetra intraornata*, a new species in the Glomeromycetes with a unique spore wall structure. *Mycotaxon* 109: 483–491.
- Goto, B.T., Silva, G.A., Yano-Melo, A.M., Maia, L.C. 2010a. Checklist of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in the Brazilian semiarid. *Mycotaxon* 113: 251–254.

- Goto, B.T., Maia, L.C., Silva, G.A., Oehl, F. 2010b. *Racocetra intraornata*, a new species in the Glomeromycetes with a unique spore wall structure. *Mycotaxon* 109: 483–491.
- Goto, B.T., Silva, G.A., Assis, D.M.A., Silva, D.K.A., Souza, R.G., Ferreira, A.C.A., Jobim, K., Mello, C.M.A., Vieira, H.E.E., Maia, L.C., Oehl, F. 2012. Intraornatosporaceae (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. *Mycotaxon* 119: 117–132.
- Guadarrama, P., Álvarez-Sánchez, F.J. 1999. Abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores in different environments in a tropical rain forest, Veracruz, Mexico. *Mycorrhiza* 8: 267–270.
- Hammer, E.C., Rillig, M. 2011. The influence of different stresses on glomalin levels in an arbuscular mycorrhizal fungus—salinity increases glomalin content. *Plos one* 6: e28426.
- Hart, M.M., Reader, R.L. 2002. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 153: 335–344.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. IBGE-Cidades@. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel>>. Acesso em: 15 dezembro 2012.
- Jarstfer, A.G., Sylvia, D.M. 1992. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: Metting, FB (Ed.). *Soil microbial ecology: Applications in agricultural and environmental management*. New York, Marcel Dekker, Inc., pp. 349–377.
- Jenkins, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report* 48: 692.
- Ji, B., Bentivenga, S.P., Casper, B.B. 2012. Comparisons of AM fungal spore communities with the same hosts but different soil chemistries over local and geographic scales. *Oecologia* 168: 187–197.
- Johnson, N.C., Gehring, C.A. 2007. Mycorrhizas: Symbiotic mediators of rhizosphere and ecosystem processes. In: Cardon, Z.G.; Whitbeck, J.L. (eds.). *The rhizosphere - an ecological perspective*. USA, Elsevier Academic Press, pp. 73–100.
- Johnson, N.C., Wedin, D.A. 1997. Soil carbon, nutrients, and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecological Applications* 7: 171–182.
- Kiers, E.T., Duhamel, M., Beesetty, Y., Mensah, J.A., Franken, O., Verbruggen, E., Fellbaum, C.R.; Kowalchuk, G., Hart, M.M., Bago, A., Palmer, T.M., West, S.A., Vandenkoornhuyse, P., Jansa, J., Bucking, H. 2011. Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science* 333: 880–882.
- Kivlin, S.N., Hawkes, C.V., Treseder, K.K. 2011. Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 2294–2303.
- Kowalczyk, S., Blaszkowski, J. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) associated with roots of plants of the Lubuskie province. *Acta Mycologica* 46: 3–18.
- Kruskal, J.B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika* 29: 115–129.
- Lavelle, P. 2009. Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 803–810.
- Leyval, C., Joner, E.J., del Val, C., Haselwandter, K. 2002. Potential of arbuscular mycorrhizal fungi for bioremediation. In: Gianinazzi, S., Schüepp, H., Barea, J.M., Haselwandter, K. (eds.). *Mycorrhizal Technology in Agriculture, from genes to bioproducts*, Birkhauser Verlag, Basel pp. 175–186.
- Li, L.F., Li, T., Zhao, Z.W. 2007. Differences of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, an old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China. *Mycorrhiza* 17: 655–665.

- Lima, D.A. 2007. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. Chefe da Secção de Botânica do Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica* 4: 243–274.
- Lima, A.L.A., Sampaio, E.V.S.B., Castro, C.C., Rodal, M.J.N., Antonino, A.C.D., Melo, A.L. 2012. Do the phenology and functional stem attributes of woody species allow for the identification of functional groups in the semiarid region of Brazil? *Trees* 26: 1605–1616.
- Lopes, C.G.R., Ferraz, E.M.N., Araújo, E.L. 2007. Caracterização fisionômica de um fragmento de Floresta Atlântica no município de São Vicente Férrer, PE, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 5: 1174–1176.
- Lovelock, C.E., Andersen, K., Morton, J.B. 2003. Arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests are affected by host tree species and environment. *Oecologia* 135: 268–279.
- Lovelock, C.E., Wright, S.F., Clark, D.A., Ruess, R. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology* 92: 278–287.
- Lugo, M.A., Anton, A.M., Cabello, M.N. 2005. Arbuscular mycorrhizas in the *Larrea divaricata* scrubland of the arid “Chaco”, Central Argentina. *Journal of Agricultural Technology* 1: 163–178.
- Lugo, M.A., Ferrero, M., Menoyo, E., Estévez, M.C., Siñeriz, F., Anton, A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizospheric bacteria diversity along an altitudinal gradient in South American Puna Grassland. *Microbial Ecology* 55: 705–713.
- Lusk, C. H., Reich, P. B., Montgomery, R. A., Ackerly, D. D., Cavender-Bares, J. 2008. Why are evergreen leaves so contrary about shade? *Trends in Ecology and Evolution* 23: 299–303.
- Lutgen, E., Muir-Clairmont, D., Graham, J., Rillig, M.C. 2003. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. *Plant & Soil* 257: 71–83.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Londres Croom Helm. 179 p.
- Maia, L.C., Trufem, S.F.B. 1990. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solos cultivados no estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 13: 89–95.
- Maia, L.C., Silveira, N.S.S., Cavalcante, U.M.T. 2005. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e patógenos radiculares. In: Michereff, S.J., Andrade, D.E.G.T., Menezes, M. (eds.). *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, pp. 183-205.
- Maia, L.C., Silva, G.A., Yano-Melo, A.M., Goto, B.T. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares no Bioma Caatinga. 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, pp. 279–310.
- Mangan, S.A., Eom, A.H., Adler, G.H., Yavitt, J.B., Herre, E.A. 2004. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi across a fragmented Forest in Panamá: insular spore communities differ from mainland communities. *Oecologia* 141: 687–700.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36–71.
- McCune, B., Mefford, M.J. 2006. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 5. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Mello, C.M.A. Fungos micorrízicos arbusculares do Núcleo de Desertificação de CABROBÓ – PE. 2011. 66 f. *Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos)* – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

- Mello, C.M.A., Silva, I.R., Pontes, J.S., Goto, B.T., Silva, G.A., Maia, L.C. 2012. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Caatinga, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 26: 938-943.
- Mello, C.M.A., Silva, G.A., Assis, D.M.A., Pontes, J.S., Ferreira, A.C.A., Leao, M.P.C., Vieira, H.E.E., Maia, L.C., Oehl, F. 2013. *Paraglomus pernambucanum* sp. nov. and *Paraglomus bolivianum* comb. nov., and biogeographic distribution of *Paraglomus* and *Pacispora*. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 86: 113-125.
- Melo, A.M.M. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) em fragmentos de Mata Atlântica no Centro de Endemismo Pernambuco. 2004. 49 f. *Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos)* – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Melo Filho, J.F., Souza, A.L.V. 2006. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. *Bahia Agrícola* 7: 50–60.
- Menezes, R.S.C., Sampaio, E.V.S.B., Giongo, V., Pérez-Marin, A.M. 2012. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology* 72: 643-653.
- Mergulhão, A.C.E.S., Oliveira, J.P., Burity, H.A., Maia, L.C. 2007. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas nativas e impactadas por mineração gesseira no semi-árido brasileiro. *Hoehnea* 34: 341-348.
- Mergulhão, A.C.E.S., Burity, H.A., Goto, B.T., Maia, L.C. 2010a. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a gypsum mining impacted semiarid area. *Acta Botanica Brasilica* 24: 1052–1061.
- Mergulhão, A.C.E.S., Burity, H.A., Silva, F.S.B., Pereira, S.V., Maia, L.C. 2010b. Glomalin production and microbial activity in soils impacted by gypsum mining in a Brazilian semiarid area. *American journal of agricultural and biological sciences* 5: 422–429.
- Mielke, P.W., Berry, K.J. 2000. Permutation methods: a distance function approach. Springer-Verlag, New York.
- Mingui, G., Ming, T., Qiaoming, Z., Xinxin, F. 2012. Effects of climatic and edaphic factors on arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of *Hippophae rhamnoides* in the Loess Plateau, China. *Acta Ecologica Sinica* 32: 62–67.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2002. *Biodiversidade brasileira - Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros*. Brasília, MMA.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2006. *PROBIO: dez anos de atuação*. Brasília, MMA.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2007. *Áreas Prioritárias para a Conservação, Uso Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira: Atualização- Portaria MMA N° 09, de 23 de janeiro de 2007*. Brasília, MMA.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2010a. *Florestas do Brasil em resumo – 2010. Serviço Florestal Brasileiro*. Brasília, MMA.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2010b. *Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga*. Brasília, MMA.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2011a. *Quarto relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica: Brasil*. Brasília.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2011b. *Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica*. Brasília.
- Mohammad, M.J., Hamadt, S.R., Malkawit, H.I. 2003. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. *Journal of Arid Environments* 53: 409–417.

- Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. Lavras, Editora UFLA.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.
- Nascimento, L.M., Rodal, M.J.N. 2008. Fisionomia e estrutura de uma floresta estacional montana do maciço da Borborema, Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 31: 27–39.
- Novais, C.B., de Souza, F.A., Siqueira, J.O. 2010. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45: 886–896.
- Oehl, F., Sýkorová, Z., Redecker, D., Wiemken, A., Sieverding, E. 2006. *Acaulospora alpina*, a new arbuscular mycorrhizal fungal species characteristic for high mountainous and alpine regions of the Swiss Alps. *Mycologia* 98: 286–294.
- Oehl, F., Laczko, E., Bogenrieder, A., Stahr, K., Bösch, R., van der Heijden, M., Sieverding, E. 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 724–738.
- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., Silva, G.A. 2011a. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2: 191–199.
- Oehl, F., Silva, G.A., Palenzuela, J., Sánchez-Castro, I., Castillo, C., Sieverding, E. 2011b. *Acaulospora punctata*, a new fungal species in the Glomeromycetes from mountainous altitudes of the Swiss Alps and Chilean Andes. *Nova Hedwigia* 93: 353–362.
- Oehl, F., Silva, D.K.A., Maia, L.C., Sousa, N.M.F., Vieira, H.E.E., Silva, G.A. 2011c. *Orbispora* gen. nov., ancestral in the Scutellosporaceae (Glomeromycetes). *Mycotaxon* 116: 161–169.
- Oehl, F., Palenzuela, J., Sánchez-Castro, I., Kuss, P., Sieverding, E., Silva, G.A. 2012. *Acaulospora nivalis*, a new fungus in the Glomeromycetes, characteristic for high alpine and nival altitudes of the Swiss Alps. *Nova Hedwigia* 95: 105–122.
- Pagano, M.C., Utida, M.K., Marriel, I.E., Cabello, M.N., Scotti, M.R. 2011. Plant-type dependent changes in arbuscular mycorrhizal communities as soil quality indicator in semi-arid Brazil. *Ecological Indicators* 11: 643–650.
- Parniske, Martin. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology* 6: 763–775.
- Paul, E.A. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. 2007. Burlington, Elsevier, 3ª ed.
- Peixoto, R.S., Chaer, G.M., Franco, N., Reis Júnior, F.B., Mendes, I.C., Rosado, A.S. 2010. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek* 98: 403–413.
- Pereira, R.C.A., Silva, J.A., Barbosa, J.I.S. 2010. Flora de um “brejo de altitude” de Pernambuco: Reserva Ecológica da Serra Negra. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica* 7: 286–304.
- Perlatti, F. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares no solo de agroecossistemas e mata nativa em ambiente semiárido no Ceará. 2010. 90 f. *Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais)* – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Phillips, J.M., Hayman, D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55: 158–161.
- Picone, C. 2000. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungal spores in tropical forest and pasture. *Biotropica* 32: 734–747.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological diversity*. Wiley, New York.

- Pillar, V.D. 1995. Clima e vegetação. UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acesso em: 15 janeiro 2011.
- Pôrto, K. C., Cabral, J. J. P., Tabarelli, M. 2004. *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação*. Série Biodiversidade 9. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- Purin, S., Klauberg Filho, O. 2010. Glomalina: nova abordagem para entendermos a biologia dos fungos micorrízicos arbusculares. 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, pp. 279-310.
- Purin, S., Rillig, M.C. 2007. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. *Pedobiologia* 51: 123–130.
- Ramos-Zapata, J.A., Guadarrama, P., Navarro-Alberto, J., Orellana, R. 2011. Arbuscular mycorrhizal propagules in soils from a tropical Forest and an abandoned cornfield in Quintana Roo, Mexico: visual comparison of most-probable-number estimates. *Mycorrhiza* 21: 139–144.
- Rodal, M.J.N., Sales, M.F., Silva, M.J., Silva, A.G. 2005. Flora de um Brejo de Altitude na escarpa oriental do planalto da Borborema, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19: 843–858.
- Rodal, M.J.N., Barbosa, M.R.V., Thomas, W.W. 2008. Do the seasonal forests in northeastern Brazil represent a single floristic unit? *Brazilian Journal of Biology* 68: 467–475.
- Rodrigues, P.C.G., Chagas, M.G.S., Silva, F.B.R., Pimentel, R.M.M. 2008. Ecologia dos brejos de altitude do Agreste Pernambucano. *Revista de Geografia* 25: 20–34.
- Rosa, R.S., Groth, F. 2004. Ictiofauna dos ecossistemas de Brejos de Altitude de Pernambuco e Paraíba. Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos Nordestinos. In: Pôrto, K.C., Cabral, J.J.P., Tabarelli, M. (eds.). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, pp. 201–210.
- Rosendahl, S. 2008. Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 178: 253–266.
- Sampaio, E.V.S.B. 2010. Características e Potencialidades. In: Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P.Y. (eds.) *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 29–42.
- Sánchez-Castro, I., Ferrol, N., Barea, J.M. 2012. Analyzing the community composition of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing the roots of representative shrubland species in a Mediterranean ecosystem. *Journal of Arid Environments* 80: 1–9.
- Santos, F.E.F., Carrenho, R. 2011. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em remanescente florestal impactado (Parque Cinqüentenário - Maringá, Paraná, Brasil). *Acta Botanica Brasilica* 25: 508–516.
- Schenck, N.C., Pérez, Y. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 3^oed. Gainesville, Synergistic Publ.
- Schilling, A.C., Batista, J.L.F. 2008. Curva de acumulação de espécies e suficiência amostral em florestas tropicais. *Revista Brasileira de Botânica* 31: 179–187.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., Walker, C. 2001. A new phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413–1421.
- Shannon, C.E., Weaver, W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, Illinois.

- Sikes, B.A., Cottenie, K., Klironomos, J.N. 2009. Plant and fungal identity determines pathogen protection of plant roots by arbuscular mycorrhizas. *Journal of Ecology* 97: 1274–1280.
- Sikes, B.A. 2010. When do arbuscular mycorrhizal fungi protect plant roots from pathogens? *Plant Signaling & Behavior* 5: 763–765.
- Silva, D.K.A. Atividade micorrízica e microbiana do solo em áreas de regeneração de Mata Atlântica, Igarassu, Pernambuco. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Silva, J.K.L. Caracterização florístico-fitosociológica de um brejo de altitude no município de Triunfo, semiárido do estado de Pernambuco. 2011. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.
- Silva, G.A., Maia, L.C., Silva, F.S.B., Lima, P.C.F. 2001a. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 135–143.
- Silva, D.K.A., Freitas, N.O., Cuenca, G., Maia, L.C., Oehl, F. 2008. *Scutellospora pernambucana*, a new fungal species in the Glomeromycetes with a diagnostic germination orb. *Mycotaxon* 106: 361–370.
- Silva, D.K.A., Pereira, C.M.R., Souza, R.G., Silva, G.A., Oehl, F., Maia, L.C. 2012. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in resting and dunes areas in Brazilian Northeast. *Biodiversity and Conservation* 21: 2361–2373.
- Silva, G.A., Maia, L.C., Oehl, F. 2013. Phylogenetic systematics of the Gigasporales. *Mycotaxon* 122: 207–220.
- Smith, S.E., Read D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. 3rd edition. London, Academic Press.
- Smith, S.E., Smith, F.A. 2012. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia* 104: 1–13.
- Souchie, E.L., Saggin-Júnior, O.J., Silva, E.M.R., Campello, E.F.C., Azcón, R., Barea, J.M. 2006. Communities of P-solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mycorrhizal fungi in grass pasture and secondary forest of Paraty, RJ – Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78: 183–193.
- Soumaila, Z.B.I.M., Tra, T.B., Nôel, Z.G., Ghislaine, K.Z.C., Romain, F.K., Zézé, A. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Theobroma cacao* L. in the region of Yamoussoukro (Cote d'Ivoire). *African Journal of Agricultural Research* 7: 993–1001.
- Sousa, M.A.N., Langguth, A., Gimenez, E.A. 2004. Mamíferos dos Brejos de Altitude Paraíba e Pernambuco. In: Pôrto, K.C., Cabral, J.J.P., Tabarelli, M. (eds.). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, pp. 229–254.
- Sousa, C.S., Soares, A.C.F., Coimbra, J.L., Garrido, M.S., Machado, G.S. 2010. Fungos micorrízicos arbusculares no controle de *Meloidogyne incognita* em mudas de tomateiro. *Revista Caatinga* 23: 15–20.
- Sousa, C.S., Menezes, R.S.C., Sampaio, E.V.S.B., Lima, F.S. 2011. Influências da temperatura de armazenamento e de extratores na determinação de glomalina em solos Paraibanos. *Revista Ciência Agronômica* 42: 837–841.
- Sousa, C.S.S., Menezes, R.S.C.M., Sampaio, E.V.S.B., Lima, F.S. 2012. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ciências Agrárias* 33: 3033–3044.

- Souza, R.G., Maia, L.C., Sales, M., Trufem, S.F.B. 2003. Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 26: 49–60.
- Souza, R.V.C.C., Ribeiro, M.R., Souza Júnior, V.S.S., Corrêa, M.M., Almeida, M.C., Campos, M.C.C., Ribeiro Filho, M.R., Schulze, M.B.B. 2010. Caracterização de solos em uma topoclimossequência no maciço de Triunfo – Sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 1259–1270.
- Stürmer S.L., Siqueira J.O. 2011. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. *Mycorrhiza* 21: 255–267.
- Su, Y.Y., Sun, X., Guo, L.D. 2011. Seasonality and host preference of arbuscular mycorrhizal fungi of five plant species in the Inner Mongolia Steppe, China. *Brazilian Journal of Microbiology* 42: 57–65.
- Tabarelli, M., Silva, J.M.C. 2002. Áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. In: Araújo *et al.* (ed.) *Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Pp. 47–52.
- Tabarelli, M., Santos, A.M.M. 2004. Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos nordestinos. In: Pôrto, K.C.; Cabral, J.J.P.; Tabarelli, M. (eds.) *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, pp. 17–24.
- Theulen, V. Conservação dos Brejos de Altitude no Estado de Pernambuco. 2004. In: Pôrto, K.C., Cabral, J.J.P., Tabarelli, M. (eds.). *Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba História Natural, Ecologia e Conservação*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, pp. 299–302.
- Thomas, R.L., Shearrrd, R.W., Moyer, J.R. 1967. Comparason of conventional and automated procedures or N, P and K analysis of plant material using a single digestion. *Agronomy Journal* 59: 240–243.
- Thomas, W.W., Jardim, J.G., Fiaschi, P., Mariano Neto, E., Amorim, A.M. 2009. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma área transicional de Floresta Atlântica no sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 32: 65–78.
- Tomé Jr., J.B. 1997. Manual para interpretação de análise de solo: Guaíba, Livraria e Editora Agropecuária, 1247p.
- Velloso, A.L., Sampaio, E.V.S.B., Giulietti, A.M., Barbosa, M.R.V., Castro, A.A.J.F., Queiroz, L.P., Fernandes, A., Oren, D.C., Cestaro, L.A., Carvalho, A.J.E., Pareyn, F.G.C., Silva, F.B.R., Miranda, E.E., Keel, S., Gondim, R.S. 2002. Ecorregiões da Caatinga. In: Velloso, A.L.; Sampaio, E.V.S.B.; Pareyn, F.G.C. (eds.). *Ecorregiões – Propostas para o Bioma Caatinga*. Recife, Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, pp. 7–33.
- Wehner, J., Antunes, P.M., Powell, J.R., Mazukatow, J, Rillig, M.C. 2010. Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity? *Pedobiologia* 53: 197–201.
- Wright, S.F., Franke-Snyder, M., Morton, J.B., Upadhyaya, A. 1996. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. *Plant & Soil* 181: 193–203.
- Wright, S. F., Upadhyaya, A. 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant & Soil* 198: 97–107.

- Silva, I.R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares ao longo de um gradiente...
- Wu, B., Hogetsu, T., Isobe, K., Ishii, R. 2007. Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi in a primary successional volcanic desert on the southeast slope of Mount Fuji. *Mycorrhiza* 17: 495–506.
- Wu, F., Dong, M., Liu, Y., Ma, X., A. L., Young, P.W., Feng, H. 2011. Effects of long-term fertilization on AM fungal community structure and Glomalin-related soil protein in the Loess Plateau of China. *Plant & Soil* 342: 233–247.
- Wurst, S., Gebhardt, K., Rillig, M. 2011. Independent effects of arbuscular mycorrhiza and earthworms on plant diversity and newcomer plant establishment. *Journal of Vegetation Science* 22: 1021–1030.
- Yang, A.N., Lu, L., Zhang, N. 2011a. The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the subtropical forest of Huangshan (Yellow Mountain), East-Central China. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 27: 2351–2358.
- Yang, H., Yuan, Y., Zhang, Q., Tang, J., Liu, Y., Chen, X. 2011b. Changes in soil organic carbon, total nitrogen, and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi along a large-scale aridity gradient. *Catena* 87: 70–77.
- Yang, H., Zang, Y., Yuan, Y., Tang, J., Chen, X. 2012. Selectivity by host plants affects the distribution of arbuscular mycorrhizal fungi: evidence from ITS rDNA sequence metadata. *BMC Evolutionary Biology* 12:50.
- Yano-Melo, A.M., Saggin Júnior, O.J., Maia, L.C. 2003. Tolerance of mycorrhized banana (*Musa* sp. cv. Pacovan) plantlets to saline stress. *Agriculture, ecosystems and environment* 95: 343–348.
- Zangaro, W., Moreira, M. 2010. Micorrizas arbusculares nos Biomas Floresta Atlântica e Floresta de Araucária. 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, pp. 279–310.
- Zangaro, W., Rostirola, L.V., de Souza, P.B., Alves, R.A., Lescano, L.E.A.M., Rondina, A.B.L., Nogueira, M.A., Carrenho, R. 2012a. Root colonization and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in distinct successional stages from an Atlantic rainforest biome in southern Brazil. *Mycorrhiza* 23: 221–233.
- Zangaro, W., Ansanelo, A.P., Lescano, L.E.A.M., Alves, R.A., Rondina, A.B.L., Nogueira, M.A. 2012b. Infection intensity, spore density and inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi decrease during secondary succession in tropical Brazilian ecosystems. *Journal of Tropical Ecology* 28: 453–462.
- Zhang, Y., Gui, L.D., Liu, R.J. 2004. Survey of arbuscular mycorrhizal fungi in deforested and natural forest land in the subtropical region of Dujiangyan, southwest China. *Plant & Soil* 261: 257–263.
- Zhaoyong, S., Liyun, Z., Gu, F., Peter, C., Xiaolin, L. 2006. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals growing under and beyond the canopies of Tamarisk shrubs. *Chinese Science Bulletin* 51: 132–139.
- Zubek, S., Blaszkowski, J., Delimat, A., Turnau, K. 2009. Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte colonization along altitudinal gradients in the Tatra Mountains. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 41: 272–279.

APÊNDICE

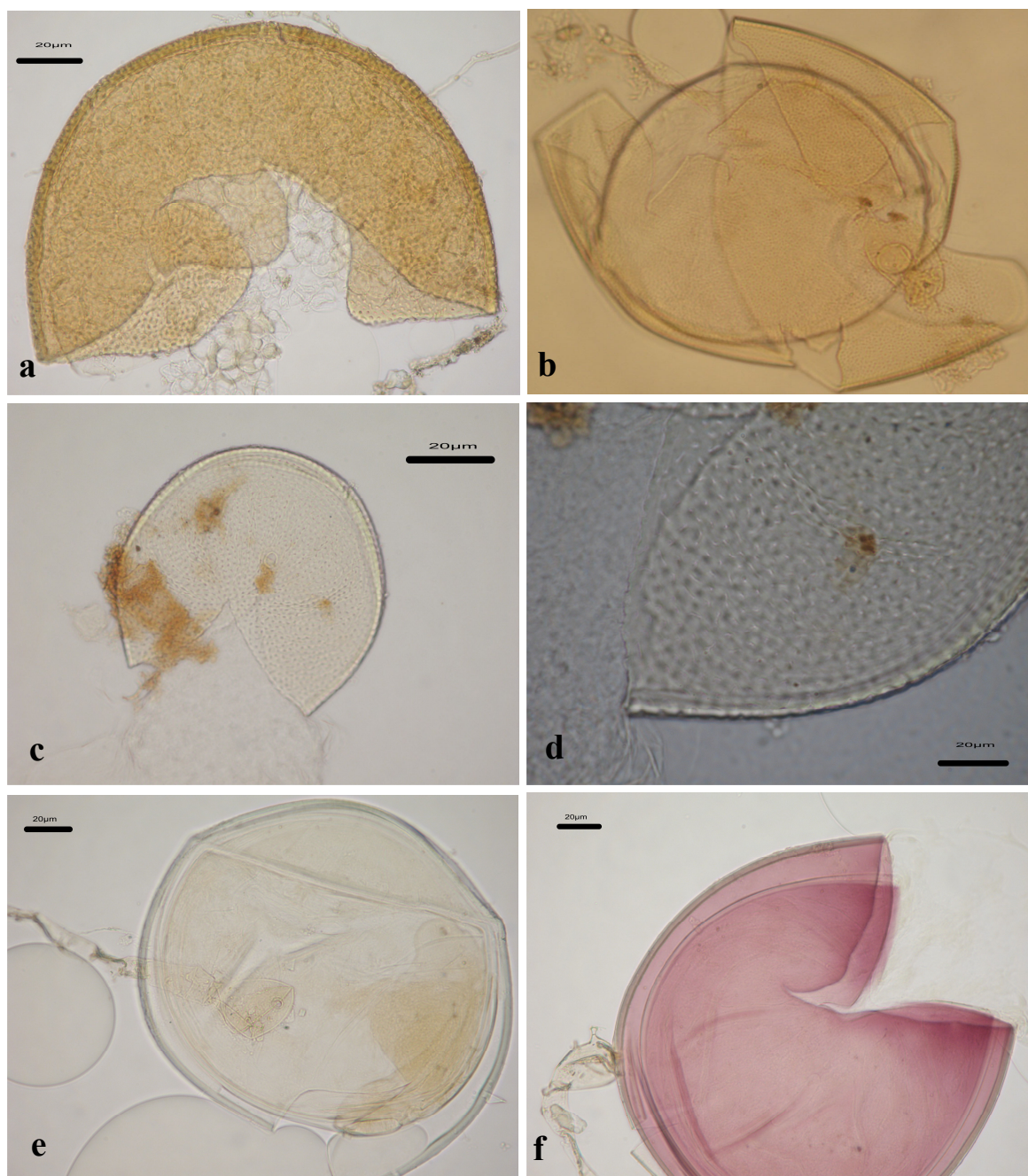


Figura 1. Fotomicrografias de esporos de FMA, *Acaulopora minuta* (a), *A. minuta* com cicatriz (b), *Acaulospora sieverdingii* (c, d), *Cetraspora pellucida*, em PVLG, mostrando a placa germinativa (e), *C. pellucida* em reagente de Melzer (f).

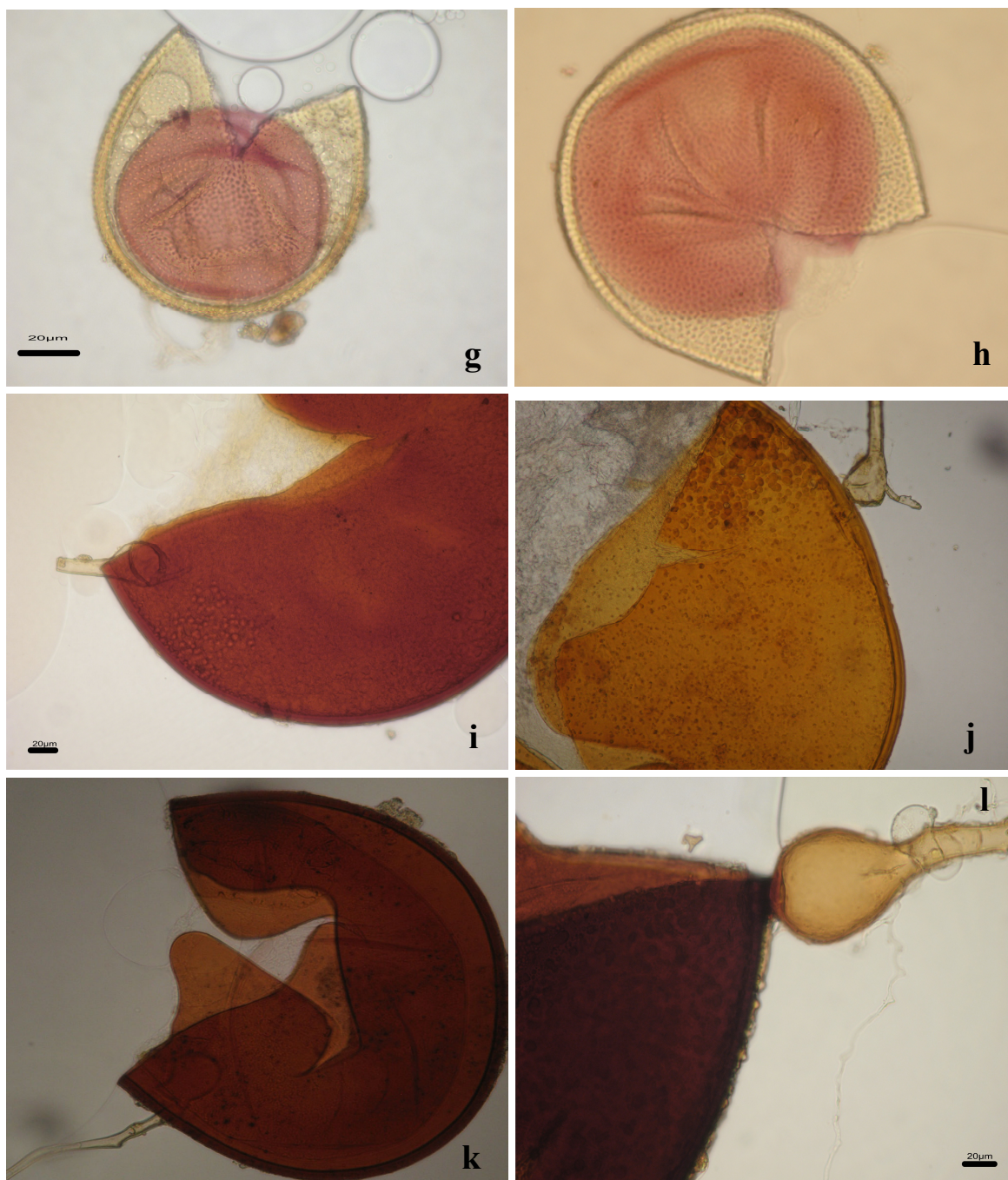


Figura 2. Fotomicrografias de esporos de FMA, *Acaulopora scrobiculata* em Melzer (g, h), *Gigaspora gigantea* com verrugas germinativas, em PVLG (i) e em Melzer (j), *Fuscotata rubra* com placa germinativa (k) e *Racocetra coralloidea* (l).