

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES

DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMI-ÁRIDO
PARAIBANO

CARLA DA SILVA SOUSA

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
DEZEMBRO - 2009

CARLA DA SILVA SOUSA

**DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMI-ÁRIDO
PARAIBANO**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN. Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Aplicação de Radioisótopos na Agricultura e Meio Ambiente.

ORIENTADOR: Prof. Dr. RÔMULO SIMÕES CEZAR MENEZES

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra LEONOR COSTA MAIA

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

DEZEMBRO – 2009

S725d

Sousa, Carla da Silva

Diversidade e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em agroecossistemas do semi-árido paraibano / Carla da Silva Sousa. - Recife: O Autor, 2009.
136f.; il., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Energia Nuclear, 2009.

Inclui Referências.

1. Aplicação de radioisótopos. 2. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA). 3. Fungos micorrízicos arbusculares - Diversidade. 4. Fungos micorrízicos arbusculares – Semi-árido paraibano. 5. Agroecossistemas – Semi-árido paraibano. I. Título.

621.4837 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2010-001

**DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMI-ÁRIDO
PARAIBANO**

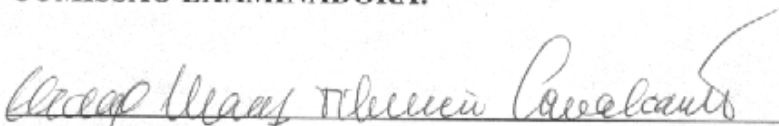
Carla da Silva Sousa

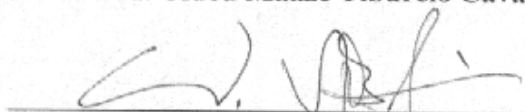
APROVADA EM: 17.12.2009

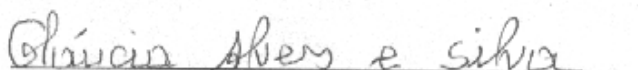
ORIENTADOR: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

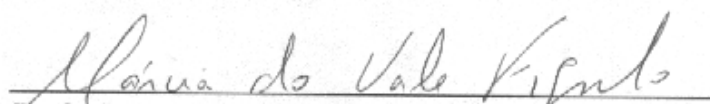
CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. Leonor Costa Maia

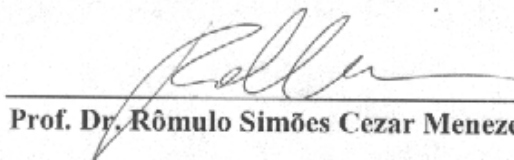
COMISSÃO EXAMINADORA:


Profa. Dra. Uided Maaze Tiburcio Cavalcante – DM/UFPE

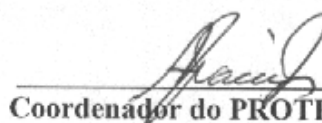

Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barreto Sampaio – DEN/UFPE


Profa. Dra. Gláucia Alves e Silva – DA/UFRPE


Profa. Dra. Márcia do Vale Barreto Figueiredo - IPA


Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes - DEN/UFPE

Visto e permitida a impressão


Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

OFEREÇO

Ao meu querido pai Edmilson (*in memorian*) pelo amor, carinho e dedicação. Tenho certeza de que onde ele estiver, sente-se orgulhoso por mais esta conquista.

A minha querida mãe Eliana, por seu amor, exemplo de força, fé, dedicação e pelo apoio incondicional em todos os momentos.

As minhas queridas irmãs Cássia e Evelin pela alegria de tê-las, por todo amor, carinho e pela convivência amiga.

DEDICO

A minha Maria Eduarda pela alegria de tê-la e pelos ensinamentos que tem me proporcionado a cada dia.

Ao meu esposo Francisco pelo incentivo, apoio carinho, companherismo e dedicação.

AGRADECIMENTOS

A Deus que com seu infinito amor deu-me a vida, a inteligência, a força, a saúde e a coragem para vencer todas as dificuldades e obstáculos que apareceram ao longo dessa caminhada.

A espiritualidade amiga, pelas boas inspirações, proteção e amparo.

A minha amada avó Nina e a madrinha Cléia pela presença, carinho, apoio e incentivo em todos os momentos.

Aos meus tios, tias, primos e primas, enfim toda a minha família, para mim alicerce e exemplo de união e amizade, por todo amor, carinho e incentivo.

Aos meus avôs Euclides e Caetano, avó Aurelina, tia Arlinda e primos Jorge Euclides e César, onde quer que estejam os lembrarei com muito carinho e amor sempre.

A Zeza pelos momentos em que estive ausente e que cuidou de Maria Eduarda com muito carinho e dedicação.

Ao Departamento de Energia Nuclear da UFPE e ao PROTEN, pela oportunidade para a realização do doutorado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Inter American for Global Change Research (IAI) e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Radioagronomia/Fertilidade do Solo: Claudenice, Gilberto, Pedro, Regina, Kássia, Fábio, Romildo, Marlon, Luzinha, Tácio, Sandrinha, Rafael, Thiago, Emmanuel, Dário, Júlio, Adelson, Sara, Brígida, Laerte, Natália, Renan, Leila, Patrícia Carla, Tereza, Geraldo, Patrícia, Priscila, Leandra, Valdemir, Edmilson e Jackson.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Micologia: Mari, Dani, Nicácio, Moacir, Vilma, Indra, Renata, Priscila, Cláudia, Thiago, João, Bruno, Ivanice, Eliete e Marilene pela atenção, gentileza e carinho com que sempre me receberam.

Ao professor Rômulo Menezes, pela orientação, confiança e incentivo durante todos os momentos de condução dos trabalhos.

Aos professores Everardo Sampaio, Uided Maaze Cavalcante, Cláudia Elizabete Lima e Leonor Costa Maia pela participação no comitê de acompanhamento e pelas valiosas sugestões que contribuíram com a melhoria da tese.

A professora Janete Magali Araújo pela atenção e gentileza que sempre me recebeu.

Ao Dr. Friz Oehl pela valiosa contribuição na identificação das espécies de FMA.

Ao Dr. Jens Linge pela gentileza em traduzir os meus resumos.

A professora Ana Cristina Fermino, pelos valiosos ensinamentos que muito contribuíram na minha formação profissional e que serão sempre lembrados na minha caminhada pela área da ciência.

Aos funcionários do Departamento de Energia Nuclear, especialmente a D. Magali pela atenção e gentileza de sempre.

E a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho os meus mais sinceros agradecimentos.

Muito obrigado!!!!

*“Se você quiser alguém com quem confiar,
confie em si mesmo, quem acredita sempre
alcança”.*

Renato Russo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	
LISTA DE TABELAS	
RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO.....	17
REVISÃO DE LITERATURA	
A região semi árida do nordeste brasileiro.....	20
Fungos micorrízicos arbusculares.....	21
Propágulos infectivos de fungos micorrízicos arbusculares.....	24
Classificação dos fungos micorrízicos arbusculares.....	25
Proteínas do solo relacionadas à glomalina.....	28
Adubos orgânicos e fungos micorrízicos arbusculares.....	30
O papel dos fungos micorrízicos arbusculares na sucessão vegetal.....	32
Diversidade vegetal sobre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares.....	33
Referências bibliográficas	34
CAPÍTULO 1	
DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES APÓS APLICAÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO	
Resumo	52
Abstract.....	53
Introdução	54
Material e métodos	55
Resultados e discussão	60
Conclusões	66
Referências bibliográficas	67
CAPÍTULO 2	
FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DE VEGETAÇÃO DE CAATINGA	
Resumo	76
Abstract.....	77
Introdução	77
Material e métodos	79
Resultados e discussão	86
Conclusões	93
Referências bibliográficas	99

CAPÍTULO 3

RELAÇÕES ENTRE USO DA TERRA, DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Resumo	103
Abstract.....	104
Introdução	104
Material e métodos	106
Resultados e discussão	111
Conclusões	116
Referências bibliográficas	117

CAPÍTULO 4

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DE EXTRATORES SOBRE OS TEORES DE GLOMALINA EM SOLOS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Resumo	125
Abstract.....	126
Introdução	126
Material e métodos	127
Resultados e discussão	129
Conclusões	131
Referências bibliográficas	132
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	135

LISTA DE FIGURAS

Revisão de Literatura

Nº	Título	
1	Região do semi-árido brasileiro.....	20
2	Interações entre raízes dos hospedeiros e fungos micorrízicos arbusculares.....	22
3	Classificação do filo Glomeromycota.....	26

Capítulo 1

Nº	Título	
1	Precipitação mensal registrada em 2006 e 2007, em Taperoá, PB.....	56

Capítulo 2

Nº	Título	
1	Precipitação mensal registrada em 2007, em Patos, PB.....	79

Capítulo 3

Nº	Título	
1	Precipitação mensal registrada em 2007, em Taperoá, PB.....	106

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Nº	Título	
1	Análises químicas e físicas do solo nas parcelas experimentais com os sistemas de adubação orgânica durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.....	58
2	Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR) e teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) em cultivo consorciado de milho, feijão e algodão sob diferentes sistemas de adubação orgânica, durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.....	62
3	Espécies de FMA em cultivo consorciado de milho, feijão e algodão sob diferentes sistemas de adubação orgânica, durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.....	65

Capítulo 2

Nº	Título	
1	Espécies arbóreas com indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) > 3 cm nos estádios sucessionais de caatinga, em Patos, PB.....	81
2	Características químicas e físicas do solo em cada área correspondente aos estádios sucessionais de caatinga durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.....	83
3	Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR) e número mais provável (NMP) de propágulos infectivos nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB	87
4	Quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina, frações facilmente extraível (GFE) e total (GT), carbono da glomalina (C-G) e relação carbono da glomalina (C-G)/carbono do solo (C-S) nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.....	89

5	Espécies de FMA nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.....	91
6	Índice de similaridade (%) de espécies vegetais e de FMA entre as áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Patos, PB.....	93

Capítulo 3

Nº	Título	
1	Características químicas e físicas do solo nos sistemas de uso, durante os períodos seco e chuvoso, em Taperoá, PB.....	108
2	Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR), número mais provável (NMP) de propágulos infectivos e proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) nos sistemas de uso da terra, com e sem a presença das árvores, durante os períodos chuvoso e seco, em Taperoá, PB.....	112
3	Espécies de FMA nos sistemas de uso da terra, com e sem a presença das árvores, em Taperoá, PB.....	115

Capítulo 4

Nº	Título	
1	Caracterização química e física dos solos.....	128
2	Quantificação de glomalina em dois solos do semi-árido nordestino submetidos a duas temperaturas de armazenamento durante 15 meses.....	129
3	Quantificação de glomalina em dois solos do semi-árido nordestino armazenados a temperatura ambiente (± 25 °C) por 15 meses, comparando duas soluções extratoras.....	130

DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS DO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO

Autor: Carla da Silva Sousa

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

RESUMO

A necessidade do entendimento sobre a dinâmica das associações micorrízicas tem aumentado nos últimos anos, bem como o reconhecimento da importante função desta simbiose no desenvolvimento das plantas, nos diversos ecossistemas terrestres. Este trabalho teve como objetivo avaliar a ocorrência, a diversidade e a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em agroecossistemas do semi-árido paraibano, visando a otimização dos efeitos benéficos da simbiose. Foram instalados dois experimentos na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá. O primeiro teve como objetivo avaliar o efeito da adubação orgânica com gliricídia e/ou esterco sobre FMA em um sistema consorciado de milho, feijão e algodão e o segundo avaliar as relações entre a diversidade e atividade de FMA e os sistemas de uso da terra (áreas de cultivo agrícola, pastagens ou campos de cultivo de palma) em parcelas agroflorestais e sem a presença das árvores. Um terceiro experimento foi instalado na Fazenda Tamanduá, no município de Patos, com o objetivo de avaliar a ocorrência e a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes estádios sucessionais de caatinga. Em um quarto experimento foi avaliada a eficiência de dois extratores e da temperatura de armazenamento das amostras sobre a quantidade de glomalina extraída em dois solos da região semi-árida paraibana. Não foi possível identificar o sistema que mais favoreceu a comunidade de FMA associada ao milho e feijão, contudo estes foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos. Em ambos os anos, o sistema de adubação em que o esterco foi incorporado ao solo e a gliricídia foi aplicada em cobertura 45 dias após o plantio (E+GC) houve favorecimento da produção de esporos e de glomalina na rizosfera do algodoeiro. Em 2007, independentemente do sistema de adubação e da cultura, houve aumento significativo da densidade de esporos, colonização micorrízica, produção de glomalina e riqueza de espécies de FMA. Nos sistemas esterco antes do plantio (E) e esterco antes do plantio + gliricídia em cobertura 45 dias após plantio (E+GC) foi registrado o maior número de espécies de FMA, independentemente do ano e da cultura. Os FMA demonstraram ser importante no estabelecimento das espécies vegetais, contudo as áreas apresentaram baixo

potencial de infectividade, sugerindo a introdução de mudas micorrizadas como uma alternativa viável para acelerar o processo de revegetação das áreas. Com exceção das áreas em estágio tardio, houve aumento dos reservatórios de glomalina com o avanço do processo de sucessão vegetal. Áreas em estágio tardio de sucessão apresentam maior riqueza de espécies de FMA, indicando que o estabelecimento da vegetação também exerce efeito sobre a comunidade fúngica. Espécies de *Glomus* e *Acaulospora* predominaram nas áreas, possivelmente por serem adaptadas às condições de semi-árido. A presença das árvores favoreceu aumento da esporulação, colonização micorrízica e número de propágulos infectivos de FMA nos sistemas de uso da terra. O sistema de produção de palma, independentemente da presença das árvores, favoreceu a produção de glomalina pelos FMA. Não houve efeito significativo da presença das árvores e dos sistemas de uso da terra sobre a riqueza de espécies de FMA. Espécies do gênero *Glomus* predominaram independentemente da presença das árvores, do sistema de uso da terra e do período de coleta. Solos armazenados sob refrigeração (4 °C), durante 15 meses apresentaram até 48% mais glomalina do que quando armazenados a temperatura ambiente. O pirofosfato de sódio extraiu 17% mais glomalina do que o citrato de sódio nas amostras do Neossolo Flúvico. Recomenda-se o refrigeramento das amostras de solo a 4°C após a coleta para quantificação mais precisa da glomalina.

Palavras-chave: associação micorrízica, caatinga, adubação orgânica, sistemas agroflorestais, sucessão vegetal, glomalina.

DIVERSITY AND ACTIVITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN AGROECOSYSTEMS OF THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA

ABSTRACT: The need to understand the dynamics of mycorrhizal associations has increased in recent years, as well as the recognition of the important function of this symbiosis in plant development in various terrestrial ecosystems. This study aimed to assess the diversity and activity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in agroecosystems in the semi-arid region of Paraíba. Two experiments were established at the Agroecological Station Vila Maria Rita in the municipality of Taperoá. The first was to evaluate the effect of organic manure with gliricidia and/or manure on AMF in an intercropping system with maize, beans and cotton, and the second to evaluate the relationship between diversity and activity of AMF and systems of land use (areas of agricultural cultivation, pasture or palm growing areas) in agroforestry plots and without the presence of trees. A third experiment was carried out at the Fazenda Tamanuduá in the municipality of Patos in order to evaluate the occurrence and diversity of AMF in different successional stages of caatinga. In a fourth experiment, the efficiency of two extractants and of the storage temperature of the samples with respect to the amount of glomalin extracted from two soils of the semi-arid region of Paraíba was evaluated. It was not possible to identify which fertilization system favored the AMF community associated with maize and beans. However, they were superior to the treatment without the addition of organic fertilizers. In both years, the fertilization system E+GC favored the production of spores and glomalin in cotton. In 2007, independent of the fertilization system and the culture, there was a significant increase in spore density, mycorrhizal colonization, production of glomalin and richness of AMF species. Systems E and E+GC showed higher species richness than other fertilization systems, regardless of the year and the culture. The AMF proved to be important in the establishment of plant species, but the areas had low degree of infectivity, suggesting the introduction of mycorrhizal plants as a viable alternative to accelerate the revegetation areas. With the exception of areas in late stage, there was an increase of glomalin reservoirs over the course of the plant succession process. Areas in late succession stage have a higher richness of AMF species, indicating that the establishment of vegetation also has an effect on the fungal community. Species of *Glomus* and *Acaulospora* dominate in the areas, possibly because they are adapted to the semi-arid conditions. The presence of trees favors sporulation, mycorrhizal colonization and the number of infective AMF propagules in the systems of land use. The system for palm production, regardless of the presence or absence of trees, favors the production of glomalin by AMF. There was no

significant effect of the presence of trees and systems of land use on species richness of AMF. Species of *Glomus* predominated regardless of the presence of trees, the system of land use and the collection period. Soils stored under refrigeration (4 °C) for 15 months showed up to 48% more glomalin than those stored at room temperature. Sodium pyrophosphate extracted 17% more glomalin than sodium citrate in the Fluvic Neosol samples. The cooling of soil samples at 4°C after collection is recommended for a more accurate quantification of glomalin.

Keywords: mycorrhizal association, caatinga, organic manure, agroforestry, plant succession, glomalin.

INTRODUÇÃO

A caatinga é a vegetação característica da região semi-árida do Nordeste Brasileiro e inclui um grande número de associações vegetais, fisionômica e floristicamente diferentes (Rodal, 1992). O estudo e a conservação da biodiversidade da caatinga constituem um dos maiores desafios do conhecimento científico brasileiro, principalmente pelo fato deste ecossistema se restringir ao território nacional (Leal et al., 2003).

O desmatamento para o estabelecimento de sistemas agropecuários, de forma intensiva ou extensiva, afeta seriamente diversas áreas da região semi-árida. Em decorrência disso, a degradação ambiental crescente nestas áreas vem ocasionando processos de desertificação cada vez mais significativos, trazendo como conseqüências imediatas, dentre outras, a perda da fertilidade do solo e da biodiversidade, a destruição de habitats naturais e o êxodo rural (Freire & Pacheco, 2005).

A degradação ambiental no semi-árido nordestino é agravada pela escassez e extrema irregularidade da precipitação pluviométrica, concentrada em uma estação de 3 a 5 meses de duração e com variação anual dos totais pluviométricos em torno de 30%, chegando a 50% em pontos mais críticos (IICA, 2002). Estas condições fazem com que, em alguns anos, o suprimento de água às plantas seja suficiente para atingirem altas produtividades, enquanto em outros anos pode levar à perda total das colheitas (Antonino et al., 2000).

Todos esses fatores contribuem para que os solos da região semi-árida sejam geralmente pouco férteis, em particular devido aos baixos níveis de matéria orgânica, nitrogênio e em algumas situações de fósforo. Por outro lado, o uso de fertilizantes químicos para melhorar a fertilidade do solo não é viável para a grande maioria dos agricultores da região semi-árida devido à irregularidade da ocorrência das chuvas, à baixa rentabilidade da atividade agrícola e ao baixo nível de capitalização (Sampaio et al., 1995). O aproveitamento integral e racional de todos os recursos disponíveis dentro da propriedade rural, com a introdução de novos componentes tecnológicos de baixo custo, pode aumentar a estabilidade dos sistemas de produção existente, maximizar sua eficiência e melhorar sua produtividade (Konden & Alvarenga, 2005).

O emprego da adubação orgânica vem crescendo gradualmente no Brasil nos últimos anos, principalmente nas pequenas e médias propriedades rurais. O uso intensivo desse tipo de adubação pode resultar em melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo (Brito et al., 2005), além de ser economicamente viável, pois o produtor utiliza resíduos orgânicos produzidos na propriedade para a composição dos adubos orgânicos (Silva &

Menezes 2007). A adubação orgânica com esterco ou a adubação verde com leguminosas são as opções mais viáveis para manter os níveis de fertilidade em sistemas de produção de agricultura familiar (Sabourin et al., 2000).

Além da adubação orgânica, a rearborização dos agroecossistemas pode ser uma alternativa viável para minimizar a fragilidade das propriedades agrícolas na região semi-árida. As árvores podem conferir mais estabilidade e resiliência aos sistemas produtivos, pois podem utilizar recursos às vezes indisponíveis às espécies herbáceas, como água e nutrientes em camadas de solo mais profundas, além de geralmente terem a capacidade de parar o crescimento quando as condições são desfavoráveis, como em períodos de estiagem, e retomar o crescimento rapidamente quando as condições voltam a ser favoráveis (Menezes & Sampaio, 2002).

A revegetação de áreas degradadas é também uma prática clássica recomendada para a recuperação dos solos e da biodiversidade de regiões semi-áridas. Entretanto, o sucesso desta prática depende da seleção de espécies vegetais rústicas, tolerantes aos períodos secos e à baixa fertilidade do solo, e capazes de produzirem grande quantidade de matéria orgânica e sementes viáveis (Carneiro et al., 1999). A escolha adequada de espécies utilizadas em processos de revegetação é muito importante, devido à necessidade de rápida adaptação aos fatores limitantes de crescimento da planta, encontrados nos solos degradados (Praton & Martins, 2001).

As alternativas tecnológicas propostas para a sustentabilidade dos agroecossistemas do semi-árido, como a adubação orgânica, a implantação de sistemas agroflorestais ou a revegetação de áreas degradadas, estão relacionadas com a comunidade microbiana do solo que tem papel fundamental nas transformações que equilibram e sustentam os ecossistemas naturais (Ruivo, 1993) e cultivados (Maschio et al., 1992). Dentre os microrganismos de maior relevância estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que formam associações mutualísticas com a maioria das plantas, conferindo superfície extra às raízes para absorção de água e nutrientes (Lopes et al., 1983), e em troca recebe fotossintatos (Smith & Gianinazzi-Pearson, 1988).

Além do efeito sobre a nutrição das plantas, os FMA interferem na composição, na competição e na sucessão das comunidades vegetais (Martins et al., 1999). A diversidade dos FMA relaciona-se com a diversidade da vegetação (Heijden et al., 1998), sendo, portanto, de grande importância a estruturação, o desenvolvimento e a sustentabilidade da comunidade vegetal (Mehrotra, 1998).

A adubação orgânica pode favorecer o estabelecimento dos FMA, através de benefícios proporcionados pela composição química e produtos da decomposição dos resíduos orgânicos incorporados no solo (Gryndler et al., 2005). Os FMA podem ser importantes ferramentas para auxiliar o funcionamento de ecossistemas em processo de revegetação, onde as deficiências nutricionais representam uma importante limitação ao desenvolvimento das plantas (Jasper, 1994).

Tendo em vista a importância das associações micorrízicas na sustentabilidade dos agroecossistemas no semi-árido do nordeste brasileiro e a escassez de informações na literatura, este estudo teve como objetivo avaliar a ocorrência, a diversidade e a atividade de FMA em diferentes agroecossistemas no semi-árido paraibano.

REVISÃO DE LITERATURA

A região semi-árida do Nordeste brasileiro

O Nordeste do Brasil compreende uma área de 1,5 milhão de km² e é considerada a região mais pobre do país (Antonino et al., 2000). As temperaturas médias anuais oscilam entre 23 e 27°C e a precipitação média é de 700 mm por ano (mínima de 300 e máxima de 3000 mm), concentrada em 2 a 5 meses do ano. A umidade relativa média é de 50% e o período de insolação chega a 2800 h ano⁻¹. A evapotranspiração potencial oscila entre 1500 e 2000 mm ano⁻¹, e é relativamente estável para todo o semi-árido (Sampaio, 1995).

A vegetação típica do semi-árido brasileiro é a caatinga, que abrange cerca de 900 mil km², correspondendo aproximadamente a 54% da região Nordeste e 11% do território brasileiro. Está compreendida entre os paralelos 2°54'S e 17°21'S e envolve áreas do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, da Bahia e do norte de Minas Gerais (Figura 1) (Drumond et al., 2000; Andrade et al., 2005).

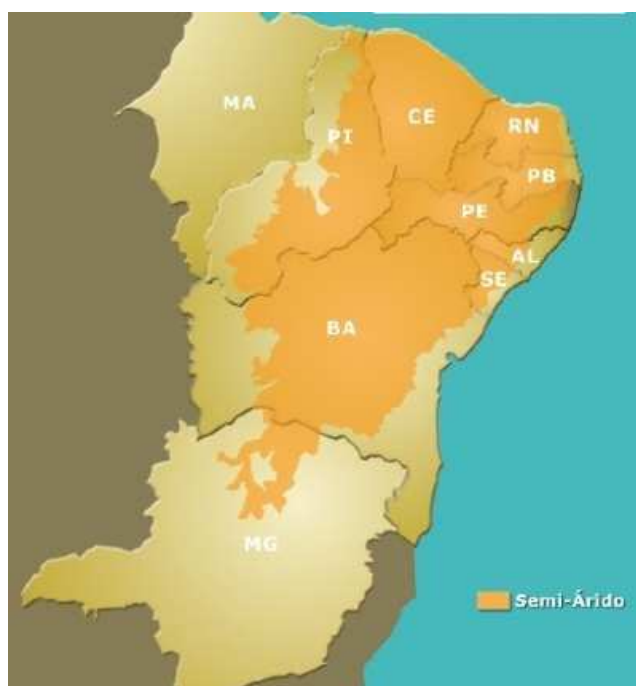


Figura 1. Região do semi árido brasileiro.

Rodal & Sampaio (2002) propuseram três características básicas, comuns a áreas sob caatinga, para identificar este bioma: 1) vegetação que cobre áreas mais ou menos contínuas, submetidas a clima quente e semi-árido, rodeada por áreas de clima mais úmido; 2) vegetação com plantas que apresentam adaptações a situações de deficiência hídrica; 3) presença de espécies endêmicas à região semi-árida e de outras espécies que ocorrem nesta e em áreas

secas mais ou menos distantes, mas ausentes nas áreas mais úmidas que fazem limite com o semi-árido.

Botanicamente, a caatinga é um complexo vegetal muito rico em espécies lenhosas e herbáceas, sendo as primeiras caducifólias e as últimas anuais, em sua grande maioria. As espécies lenhosas, arbustos e árvores de pequeno porte dominam a paisagem da caatinga, em seus mais diferentes sítios ecológicos. Suas características fitossociológicas densidade, cobertura e frequência são determinadas, principalmente, pelas variações locais da topografia, do tipo de solo e da pluviosidade (Andrade Lima, 1992).

A agricultura de subsistência (geralmente milho e feijão) é a atividade econômica mais importante nesta região, embora a disponibilidade de água seja o principal obstáculo para a produção agrícola (Antonino et al., 2000). Fatores de natureza física, biológica e sócio-econômica, como a escassez e a má distribuição de chuvas, as limitações de solos (físicas e químicas), a falta de tecnologias adaptadas, entre outros, têm contribuído para que a produção agrícola não atinja os níveis desejados (Cavalcanti et al., 1999).

Adicionalmente, são encontrados locais com ocorrência de desertificação que totalizam aproximadamente 328 mil km², envolvendo as regiões do semi-árido mais seco e quatro núcleos de desertificação, isto é, áreas de intensa degradação (MMA, 2000). As consequências de anos de extrativismo predatório são visíveis como perdas irrecuperáveis da diversidade da flora e da fauna, acelerada erosão e queda na fertilidade do solo e na quantidade de água disponível no solo (Schouber, 2007). Dentre as causas da desertificação no Nordeste destacam-se, além das condições climáticas desfavoráveis, como a localização geográfica sob clima tropical e os baixos valores pluviométricos, o uso inadequado dos recursos naturais, o desmatamento e as práticas inapropriadas do uso do solo, como sobrepastoreio e o cultivo excessivo (Ross, 2001).

Fungos micorrízicos arbusculares

As micorrizas arbusculares (MA) são associações entre plantas e fungos do solo do filo Glomeromycota (Schüßler et al., 2001). O benefício da associação para a planta surge do aumento da extensão da superfície de absorção e, em troca, o fungo é subsidiado por carboidratos fotoassimilados (Herrman et al., 2004). A colonização radicular pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é restrita às células do córtex, não invadindo o cilindro central, sendo, portanto, incapaz de causar qualquer dano às raízes, caracterizando, deste modo, uma associação simbiótica (Siqueira & Franco, 1988).

No córtex da raiz hospedeira, estruturas relacionadas com a troca de metabólitos, denominadas arbúsculos são formadas por hifas que se ramificam dicotomicamente repetidas vezes dentro da célula vegetal (Gomes & Trufem, 1998). Perfurando a parede celular, sem, no entanto, romper a membrana citoplasmática, os arbúsculos formam invaginações na membrana, de modo a multiplicar a superfície de contato entre a célula vegetal e o fungo, criando regiões de contato extremo entre os simbiossiontes (Figura 2). Também podem ser verificadas pequenas estruturas de reserva contendo lipídios, denominadas vesículas que podem ser formadas tanto em cavidades celulares quanto em espaços intercelulares. Estas estruturas não são formadas pelos representantes da família Gigasporaceae (Alves, 2004), que produzem, no entanto, células auxiliares similares a vesículas, no micélio externo.

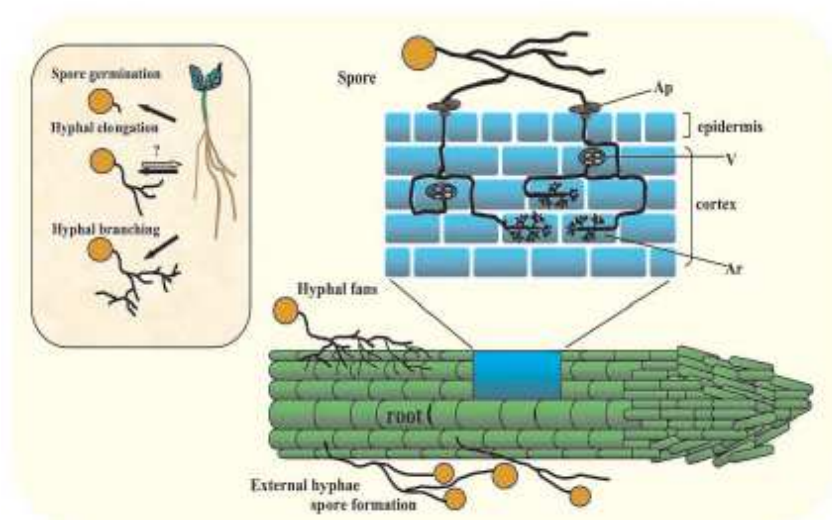


Figura 2. Interações entre raízes dos hospedeiros e fungos micorrízicos arbusculares (Gadkar et al., 2001).

Os FMA exercem grande influência na estruturação das comunidades vegetais (Heijden et al., 2003), promovendo o aumento na absorção de nutrientes, como P (Bressan et al., 2001; Pfeffer et al., 1999), Zn e Cu (Pfeffer et al., 1999; Marschner & Dell, 1994), N e K (Gupta et al., 2002; Bressan et al., 2001) também aumentam a tolerância das plantas a doenças radiculares (Borges et al., 2003) influenciam a diversidade e a produtividade vegetal (Miller & Kling, 2000), e favorecerem a comunicação de duas ou mais plantas através das hifas fúngicas (Wardle, 2002).

Os FMA são componentes comuns da rizosfera e das raízes da maioria das plantas superiores, estando amplamente distribuídos no reino vegetal (Dodd, 2000). A ocorrência dos FMA é tão ampla que mais de 80% das plantas podem formar micorriza arbuscular (Jeffries et al., 2003), sendo esta considerada uma associação cosmopolita, reconhecida como parte importante e integral dos ecossistemas naturais de todo o mundo (Gadkar et al., 2001).

Tamanha amplitude de distribuição geográfica e ocorrência nos vegetais possivelmente é explicada pela origem evolutiva dos FMA (Alves, 2004). O surgimento destes organismos coincide com a colonização das terras emersas pelas primeiras plantas terrestres no Siluriano, há 439 milhões de anos (Kendrick & Crane, 1997). Para Fitter & Moyersoen (1997), os FMA certamente desenvolveram um papel decisivo no processo de conquista do ambiente terrestre, pois as plantas não conseguiriam absorver nutrientes do solo através de suas raízes rudimentares, ou o fariam em menor nível sem o auxílio dos simbiontes micorrízicos.

Segundo Janos (1988), a dependência micorrízica é a incapacidade da planta em crescer na ausência de micorriza num determinado nível de fertilidade e a diferença entre o crescimento da planta micorrizada e sem micorriza mede sua responsividade, isto é, a magnitude do efeito. A dependência micorrízica nesse caso é determinada pelo nível de P no solo em que a micorriza ainda estimula a planta, independentemente da magnitude das respostas à inoculação, ou seja, responsividade (Moreira & Siqueira, 2006).

A dependência micorrízica está relacionada ao genoma da planta, sendo, portanto, uma característica herdável (Hetrick et al., 1996). Esta característica também é influenciada pela exigência nutricional, eficiência na absorção de nutrientes pelas raízes, taxa de crescimento, reserva de nutrientes da semente e abundância, distribuição e morfologia do sistema radicular (Janos, 1987).

A capacidade dos FMA de beneficiar a planta é muitas vezes denominada efetividade simbiótica ou eficácia simbiótica. Quanto mais ampla a adaptação dos FMA às condições ambientais, maior é a sua eficiência simbiótica. Fungos que apresentam elevada eficiência simbiótica em diferentes avaliações podem ser utilizados em condições menos específicas de clima, solo e cultura (Saggin Júnior & Silva, 2005).

Várias são as características de um FMA eficiente, destacando-se a capacidade de colonizar ampla e precocemente vários hospedeiros, assim como a habilidade em absorver nutrientes do solo, principalmente P, transferindo-os para a planta, e manutenção do caráter de eficiência mesmo quando multiplicado em condições diferentes daquelas de sua origem (Abbott et al., 1992).

O estabelecimento da simbiose micorrízica é determinado por fatores edafoclimáticos e aspectos da relação fungo-planta. Assim, a utilização de diferentes espécies e/ou isolados de FMA resulta em respostas diferenciadas por parte do hospedeiro (Costa et al. 2001; Cavalcante et al. 2002). Além do ambiente e dos genomas da planta e do fungo, a densidade de propágulos também influencia a taxa de colonização e a resposta a micorrização (Siqueira, 1994).

Certos fatores que afetam a formação da micorriza podem influenciar indiretamente o funcionamento da simbiose. A taxa de crescimento, a plasticidade e a atividade do sistema de raízes podem afetar a habilidade da planta em suportar as condições não favoráveis do solo e estabelecer a associação micorrízica em maior ou menor extensão (Azcón-Aguilar & Barea, 1997).

Propágulos infectivos de fungos micorrízicos arbusculares

Esporos, micélio extra-radicular e pedaços colonizados de raízes são os principais tipos de propágulos de FMA no solo, e sua abundância e viabilidade determinam a persistência destes microrganismos em situações adversas, como modificações físicas e químicas do solo (Aguiar, 2004).

Os esporos são estruturas estratégicas de resistência a condições adversas do ambiente. Possuindo paredes que podem ser bastante espessas, os esporos podem permanecer viáveis por longos períodos, até encontrarem condições favoráveis à germinação (Alves, 2004). O micélio extra-radicular dos FMA é constituído por uma rede de hifas que pode crescer indefinidamente pelo solo, podendo se diferenciar em componentes de absorção, de crescimento ou de infecção (Morton et al., 1994). Essa rede de hifas absorve e transporta água e nutrientes do solo para a planta (Rhodes & Gerdemann, 1980) e pode também favorecer o transporte de nutrientes entre plantas interconectadas pelas hifas (Yao et al., 2003). Pedaços das raízes colonizados por estruturas de FMA são também importantes para manutenção da infectividade do solo (Souza & Silva, 1996).

A diversidade, a densidade e o potencial de infectividade dos propágulos de FMA no solo estão relacionados indiretamente com as condições ecológicas de cada ecossistema (Maia & Trufem, 1990) e diretamente com a fisiologia do fungo (Morton et al., 1993), estando a colonização micorrízica ligada ao genótipo da planta e do fungo, assim como ao ambiente.

Esporos e/ou outros propágulos infectivos de FMA de uma região podem ser levados pela correnteza dos rios e se instalar em outras regiões. Outros agentes dispersores (vento, aves, roedores etc.) podem também colaborar para a disseminação destes fungos, contribuindo assim para o aumento da diversidade de espécies nas diversas áreas (Carrenho et al., 2001). Em campo, as concentrações de propágulos de FMA são correlacionadas principalmente com a cobertura vegetal e as condições do solo (Sieverding, 1991).

Algumas técnicas utilizando a colonização radicular ou o número de esporos têm sido empregadas para enumerar os propágulos infectivos de FMA no solo (Silva et al., 2001).

Entretanto, o grau de colonização é uma estimativa da biomassa fúngica dentro das raízes, não de propágulos infectivos no campo, e a simples contagem de esporos serve apenas para enumerar os propágulos infectivos de FMA no solo sob certas circunstâncias, só podendo ser relacionado ao potencial de infectividade se for conhecida a condição dos esporos, ou seja, se estão vivos, mortos ou dormentes (Liu & Luo, 1994). Além disso, a ausência de esporos não indica, necessariamente, ausência da colonização radicular e, conseqüentemente, não participação na associação micorrízica (Carrenho et al., 2001), pois algumas espécies de FMA podem estar presentes em outras formas de propágulos infectivos como hifas ou colonizando pedaços de raízes (Silva et al., 2006).

A técnica do número mais provável de propágulos infectivos (NMP) enumera todos os propágulos que têm habilidade para colonizar a planta hospedeira, falhando apenas na detecção de esporos dormentes (Liu & Luo, 1994). Estudando os FMA em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita, Caproni (2001) observou que a técnica de bioensaio do NMP por espécie, para avaliar comunidades de FMA, foi a que melhor expressou o comportamento destes fungos nos ecossistemas avaliados. Entretanto, segundo Wilson & Trinick (1982), embora forneça dados úteis sobre a infectividade dos FMA, as estimativas obtidas são muito dependentes das condições experimentais utilizadas.

Remoção da vegetação, perda da camada superficial orgânica e modificações na estrutura do solo por processos erosivos ou ações mecânicas, como raspagem e revolvimentos dos horizontes superficiais podem promover a eliminação parcial ou total dos propágulos dos FMA, bem como reduzir sua capacidade infectiva (Silva et al., 2006). Sieverding (1991) considerou como nível crítico de deficiência de propágulos de FMA no solo, aquele abaixo do qual não há resposta do hospedeiro, que depende da espécie fúngica e do grau de dependência da planta à micorrização.

Classificação dos fungos micorrízicos arbusculares

A classificação dos FMA recentemente tem sofrido sensíveis alterações, pelo avanço do uso de técnicas moleculares no estudo filogenético (Saggin-Júnior & Silva, 2005). Atualmente, esses fungos estão no filo Glomeromycota, que possui quatro ordens: Paraglomerales, Archaeosporales, Glomerales e Diversisporales (Moreira & Siqueira, 2006) (Figura 3).

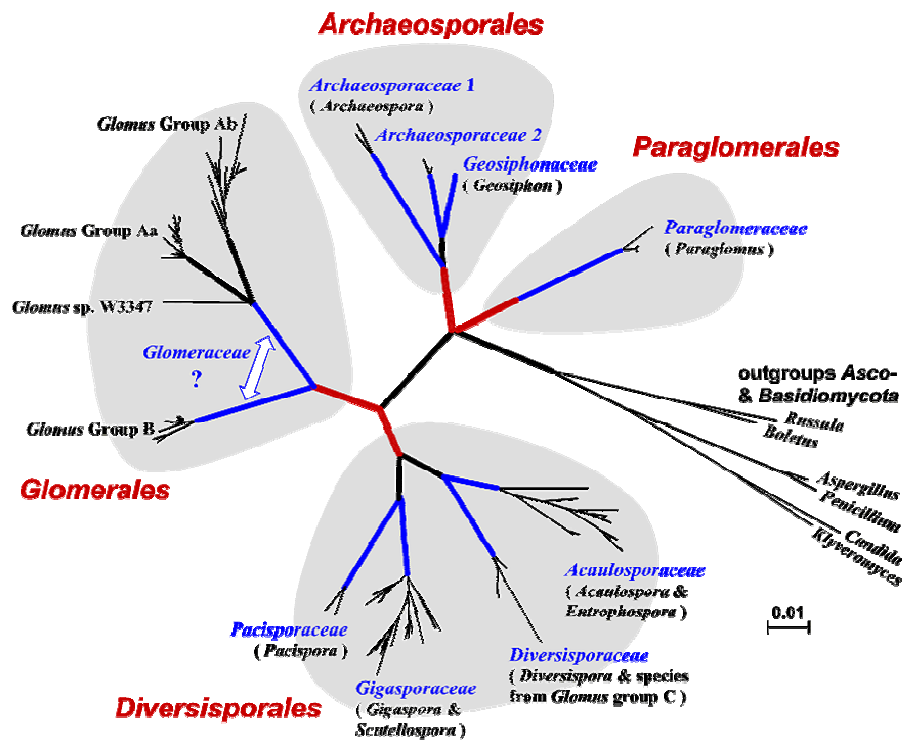


Figura 3. Classificação do filo Glomeromycota (Schubler et al., 2001).

A ordem Paraglomerales possui uma única família, Paraglomeraceae, com o gênero *Paraglomus*, que se caracteriza pela presença de espécies monomórficas formando esporos glomóides na parte terminal de uma hifa esporogênica. O tubo germinativo dos esporos emerge do lúmen da hifa de sustentação e a sequência de nucleotídeos 18S do gene rDNA separa esta família dentro de Glomeromycota (Morton & Redecker, 2001).

Archaeosporales tem as famílias Geosiphonaceae (não forma associação micorrízica), Archaeosporaceae e Ambisporaceae. Archaeosporaceae é composta pelos gêneros *Archaeospora* e *Intraspora*, com espécies dimórficas e monomórficas, respectivamente, com esporos acaulosporóides e entrophosporóides podendo ser encontrados no solo. Esses esporos apresentam duas paredes com várias camadas (Schubler et al. 2001).

Glomerales possui a família Glomeraceae, composta pelo gênero *Glomus*, cujas espécies apresentam esporos formados isoladamente, em agregados frouxamente arranjados ou em esporocarpos, com ausência de paredes germinativas e hifa de sustentação contínua com a parede do esporo (Moreira & Siqueira, 2006).

Diversisporales engloba as famílias Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Racocetraceae, Scutellosporaceae, Dentiscutataceae, Entrophosporaceae, Diversisporaceae e Pacisporaceae. Acaulosporaceae possui os gêneros *Acaulospora* e *Kuklospora* que se caracterizam pela presença de paredes germinativas e esporos formados a partir de um sáculo esporífero.

Composta pelo gênero *Gigaspora*, a família Gigasporaceae tem como características: fungos com esporos formados numa célula bulbosa, com parede permanente e laminar e ausência de vesículas. Nas famílias Racocetraceae, Scutellosporaceae e Dentiscutataceae também há formação de esporos a partir de uma célula bulbosa, porém nesse caso todos os representantes apresentam pelo menos uma parede interna e placa germinativa.

A família Entrophosporaceae tem um único gênero, *Entrophospora* com esporos com uma parede externa e uma parede interna relativamente espessa e sem camada “beaded” (Sieverding & Oehl, 2006). Os gêneros *Diversispora* e *Otospora* pertencem à família Diversisporaceae, que difere das outras famílias incluídas em Diversisporales por apresentar esporos glomóides e acaulosporóides, germinação não acompanhada pela formação da placa germinativa e sequência gênica específica do SSUrRNA (Walker & Schübler, 2004).

Os representantes da família Pacisporaceae e do seu único gênero, *Pacispora*, caracterizam-se pela presença de “orb” (Oehl & Sieverding, 2004), a partir do qual o tubo germinativo é emitido, presença de duas paredes, com três camadas cada, segundo Oehl & Sieverding (2004); parede interna flexível que cora de púrpura em Melzer. Segundo Walker et al. (2004), a ligação da hifa de sustentação é similar à base do bulbo dos esporos de Gigasporaceae, com a hifa sendo facilmente destacável.

Embora a taxonomia molecular tenha sido muito útil para elucidar a filogenia dos FMA à nível de gênero ou níveis superiores, pouco tem sido feito para a diferenciação das espécies. Isso se deve, principalmente, às dificuldades em se multiplicar o fungo em cultura pura. Outra característica que dificulta a análise de FMA em nível de espécies é o alto grau de polimorfismo entre genes encontrados em um mesmo fungo (esporo) (Berbara et al., 2006). Deste modo, a identificação das espécies é em geral feita pelas características morfológicas dos esporos (Silva et al., 2006).

Características como as subunidades da parede e suas propriedades (cor, espessura, pigmentação, ornamentação e reações histoquímicas) podem ser observadas nos esporos e utilizadas para identificação à nível específico (Bentivenga & Morton, 1994). O modo de formação dos esporos de FMA também distingue as famílias e os gêneros. Os padrões de desenvolvimento dos esporos determinam as propriedades de suas paredes externas e internas e com origem independente, constituindo critério importante para a classificação (Moreira & Siqueira, 2006).

A diversidade de espécies de FMA é avaliada principalmente pela extração, contagem e identificação de seus esporos coletados em campo (Morton et al., 1995). Contudo, estes esporos apresentam-se em algumas circunstâncias em baixa densidade, parasitados ou

faltando componentes como as paredes externas e internas que são susceptíveis a alterações e deterioração por uma ampla gama de agentes presentes no solo (Leal et al., 2009). Além disso, muitas vezes, a diversidade é subestimada, pois nem todas as espécies da comunidade estão sob uma forma identificável, ou seja, muitas espécies podem estar presentes somente na forma vegetativa (Bartz et al., 2008).

De acordo com Morton et al. (1995), para um levantamento mais preciso da composição e distribuição de FMA em solo de campo, faz-se necessária a diversificação dos métodos de amostragem, principalmente com a utilização do método conhecido como iscagem ou cultura armadilha. As espécies que produzem esporos nesta condição têm maiores chances de ser identificadas, pois os esporos em geral encontram-se em bom estado de conservação e em várias fases de desenvolvimento (Bartz et al., 2008).

Segundo Bartz et al. (2008), a multiplicação dos FMA em vasos (cultura-armadilha) associada ao levantamento dos esporos recolhidos diretamente do campo possibilita identificar maior número de espécies em trabalhos de diversidade. O uso de culturas armadilhas sucessivas proporciona um quadro mais completo da diversidade de espécies de FMA. Entretanto, alguns autores sugerem que a cultura armadilha pode selecionar espécies que esporulam facilmente, omitindo aquelas que, embora não esporulem colonizam as raízes. Além disso, este método não possibilita a recuperação e identificação de todas as espécies, uma vez que a taxa de esporulação depende de fatores como temperatura, luminosidade, espécie fúngica, planta hospedeira empregada, dentre outros (Bever et al., 1996, Bartz et al., 2008).

Proteínas do solo relacionadas à glomalina

Além dos benefícios às plantas pela absorção de água e nutrientes, é atribuído aos FMA a capacidade de favorecer a agregação do solo (Miller & Jastrow, 1992), através das hifas extraradiculares. Um importante componente contido ou liberado pelas hifas e esporos dos FMA é a glicoproteína denominada glomalina (Moreira & Siqueira, 2006), em referência à antiga ordem Glomales, na qual estavam classificados os FMA (Morton & Benny, 1990). Segundo Nichols (2003), a glomalina foi descoberta no início dos anos 90, durante trabalhos para produção de anticorpos monoclonais, visando a identificação de FMA.

As condições requeridas para solubilizar glomalina são severas e, por esta razão, Wright & Upadhyaya (1998) e González-Chávez et al. (2004) acreditavam que outras proteínas não sobreviviam ao longo período de exposição a 121°C requerido para liberar este

componente dos solos ou das hifas. Além disso, o extrato da glomalina demonstrou ser relativamente livre de proteínas co-extraídas de acordo com perfis de eletroforese em gel de diversos FMA ou solos que demonstraram bandas consistentes com pouca ou nenhuma banda estranha (Wright & Upadhyaya, 1996). Utilizando espectroscopia de ressonância magnética nuclear H^1 , Rillig et al. (2001) observaram que, além da glomalina, os extratos protéicos não apresentavam outros peptídeos ou taninos, componentes comumente presentes em extratos de solo.

Contudo, Rosier et al. (2006) demonstraram que tanto albumina bovina sérica quanto misturas de proteínas contidas em folheto proveniente de três diferentes fontes vegetais não foram eliminadas após o processo de extração da glomalina, sendo detectadas pelo método Bradford, e adicionalmente, interferindo no método ELISA. Rillig (2004) sugeriu então uma mudança na nomenclatura de “glomalina” para “proteínas do solo relacionadas à glomalina” (PSRG). Whiffen et al. (2007) demonstraram que compostos polifenólicos, tais como ácido tânico e ácidos húmicos presentes no folheto, resistiram à autoclavagem no processo de extração, ligando-se ao Comassie Brilliant Blue (CBB) e resultando em aumento na quantificação de PSRG.

Recentemente, o pré-tratamento do solo com taninos resultou em extrato escuro comparado com solo controle, que pode ter influenciado na medição fotométrica após a reação Bradford e, conseqüentemente, causado estimativa incorreta da proteína (Halvorson & Gonzalez, 2006). Em outro estudo recente, Janos et al. (2008) recuperaram 34% de albumina bovina sérica e 22% de mucina bovina no primeiro ciclo de autoclavagem, adicionadas ao solo antes da extração da glomalina. Os resultados obtidos nestes estudos suportam a hipótese de que o extrato de glomalina pode atualmente representar complexas associações de compostos polifenólicos com uma proteína (ou proteínas) de FMA (Purin & Rillig, 2007).

Em áreas agrícolas, concentrações das frações facilmente extraível e total de glomalina foram em torno de 0,5 e 3 mg g solo⁻¹, respectivamente (Rillig et al., 2003), enquanto que em regiões semi-áridas, as concentrações foram comparativamente baixas, não excedendo 0,3 e 0,6 mg g solo⁻¹ (Bird et al., 2002). Em áreas revegetadas com plantas micorrizadas, a concentração de glomalina pode chegar a 3,65 mg g solo⁻¹ (Caravaca et al., 2005). Contudo, em solos de floresta, Rillig et al. (2001) conseguiram extrair até 60 mg glomalina g⁻¹ solo.

Além de favorecer a formação de agregados estáveis no solo (Wright & Upadhyaya, 1998; Wright & Anderson, 2000; Wright et al., 2007), atribui-se à glomalina a capacidade de seqüestrar metais pesados, reduzindo a disponibilidade e o risco de toxicidade destes elementos para microrganismos e plantas crescidas em solos poluídos (González-Chávez et

al., 2004). Segundo Cornejo et al. (2008), o seqüestro de metais pesados pela glomalina pode ser um mecanismo altamente eficiente dos FMA para melhorar as condições ambientais para seu crescimento, levando à estabilização de solos altamente poluídos por estes elementos.

Embora os mecanismos que regulam a produção de glomalina ainda não estejam bem compreendidos (Purin & Rillig, 2007), foi demonstrado que a proporção deste componente em hifas fúngicas pode ser afetada por fatores ambientais (Rillig & Steinberg, 2002), como concentração de nutrientes e mineralogia do solo, condições climáticas (Rillig et al., 2001) e espécies fúngicas (Wright et al., 1996). Além disso, comprimento radicular, disponibilidade de plantas hospedeiras e balanço nutricional das plantas podem, indiretamente, afetar a produção de glomalina, por alterar a alocação de fotossintatos para os FMA (Tresender & Turner, 2007).

A decomposição da glomalina pode ser influenciada por características do solo, tais como disponibilidade de nutrientes e metais pesados, que atuam sobre a atividade microbiana (Lovelock et al., 2004; Vodnik et al., 2008), conteúdo de argila, que pode promover proteção física (Nichols & Wright, 2005), ou estabilização da proteína, por estar ligada ao ferro em solos ricos com este elemento (Rillig et al., 2001). Outra possibilidade é que a decomponibilidade da glomalina varie entre os tipos de ecossistemas, talvez devido a diferenças na estrutura química ou ao grau com que está ligada às partículas do solo (Treseder & Turner, 2007).

Adubos orgânicos e fungos micorrízicos arbusculares

A necessidade de sistemas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a busca por práticas agrícolas que, além de favorecer a produtividade de culturas, não comprometam a qualidade do solo; uma das alternativas é o uso de adubos orgânicos (Caravaca et al., 2002). A aplicação desses adubos no solo promove uma série de benefícios físicos, biológicos e químicos, como melhoria da estrutura e capacidade de infiltração (Roose & Barthes, 2001), aumento do número de microrganismos pela incorporação da matéria orgânica como fonte energética (Vetterlein & Hüttel, 1999), liberação de nutrientes como nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio, entre outros (Tang & Yu, 1999), redução da erosão hídrica e eólica e diminuição do conteúdo de alumínio potencialmente fitotóxico.

Os efeitos da adubação orgânica sobre a associação micorrízica são muito variáveis e, geralmente, sinérgicos, embora efeitos inibitórios também tenham sido registrados (Saggin Júnior & Lovato, 1999). Aumentos na densidade de esporos são observados quando se

incorporam adubos orgânicos ao solo (Zambolim et al., 1992), provavelmente devido ao favorecimento da aeração e ao maior desenvolvimento das raízes (Ishac et al., 1986). St. John et al. (1983) obtiveram evidências experimentais de que a adubação orgânica estimula o crescimento e a ramificação das hifas dos FMA no solo, pela formação de um nicho fisiológico mais adequado para o crescimento do fungo.

O emprego de adubos orgânicos pode favorecer a fase intraradicular, embora fatores como dose e tipo do adubo orgânico, além da espécie vegetal e de FMA devam ser considerados para o sucesso do estabelecimento da simbiose em áreas com manejo orgânico (Silva, 2006). A adubação orgânica com esterco animal é indiscutivelmente importante para melhor ciclagem dos nutrientes nos agroecossistemas e por seus diversos benefícios ao solo (Garrido et al., 2008). Entretanto, como a reserva de nutrientes nos estercos é alta, particularmente no que diz respeito ao P, o uso de proporções elevadas pode resultar em redução ou mesmo inibição da colonização micorrízica (Trindade, 1992).

Peixoto & Pádua (1989) observaram resposta linear da planta até a dose de 30% de esterco de curral adicionada. Silveira et al. (1996) observaram que a inoculação com FMA beneficiou o desenvolvimento de mudas de maracujá, mesmo em substrato composto de até 40% de esterco. Entretanto, Bento (1997), empregando uma mistura de FMA eficientes, constatou que as mudas micorrizadas de maracujazeiro obtiveram maior crescimento até a dose de 10%, não diferindo das não-micorrizadas nas doses mais elevadas. Do mesmo modo, Trindade et al. (2000) constataram que a aplicação de 30% de esterco bovino reduziu a colonização por FMA nativos em mudas de mamoeiro (*Carica papaya* L.)

Além da adubação com esterco animal, uma prática que pode melhorar a produtividade agrícola a um custo baixo é a adubação verde, considerada uma importante prática com potencial de reduzir a dependência sobre fertilizantes minerais e para manter a matéria orgânica no solo. Como outros fertilizantes orgânicos, adubos verdes fornecem nutrientes para o crescimento das plantas e o carbono que serve como fonte de energia para os microrganismos heterotróficos do solo (Elfstrand et al., 2007).

A adubação verde com o emprego de leguminosas tem-se mostrado uma prática importante, pois garante a auto-suficiência em nitrogênio, recicla macro e micronutrientes com considerável eficiência e fornece grandes quantidades de matéria orgânica ao solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas (Calegari et al., 1992).

Labidi et al. (2007) verificaram que a incorporação de um composto produzido com folhas de *Acacia cyanophylla* em áreas naturais promoveu aumento da produção de micélio extraradicular e de glomalina pelos FMA. Espínola et al. (1998) também observaram que

tanto o número de esporos quanto o de outros propágulos infectivos de FMA aumentaram com o uso de crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), guandu (*Cajanus cajan*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) como adubos verdes em plantios de batata doce. Gaur & Adholeya (2002), observaram que a incorporação de adubos verdes no substrato de cultivo de *Zea mays*, *Medicago sativa*, *Trifolium alexandrinum*, *Avena sativa* e *Sorghum vulgare*, aumentou o percentual de colonização micorrízica das plantas, o número de esporos e de propágulos infectivos de *Glomus*, *Gigaspora* e *Scutellospora*. Soedarjo & Habte (1993) verificaram que a incorporação de folhas de *Leucaena leucocephala* no substrato de cultivo dessa espécie aumentou a taxa de colonização por *Glomus aggregatum*. Apesar dos estudos realizados ainda é pouco compreendida a relação adubo orgânico x FMA.

O papel dos fungos micorrízicos arbusculares na sucessão vegetal

As áreas de floresta tropical têm diminuído progressivamente, para dar lugar a campos de agricultura, de pastagens e a extensas áreas de terras degradadas, com grande perda da biodiversidade (Zangaro et al., 2002). O rápido declínio da fertilidade do solo, com a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas, é um grande obstáculo para a revegetação natural de florestas e para os programas de revegetação (Brown & Lugo, 1994). Entretanto, cientistas e ambientalistas estão cada vez mais empenhados em restabelecer a composição da flora, como forma de recuperar o potencial genético dessas áreas (Kageyama et al., 1989).

Os microrganismos que formam simbioses radiculares, como os FMA, desempenham função ecológica importante nos ecossistemas, especialmente nos florestais em diferentes estádios sucessionais, quando as interações inter e intra-específicas são intensas e podem se manifestar como relações competitivas entre plantas que ali se desenvolvem (Janos, 1996).

Quando em simbiose, os FMA otimizam a tolerância das plantas a estresses abióticos e bióticos (Johnson & Pfleger, 1992), promovem a agregação das partículas do solo (Miller & Jastrow, 1992) e a utilização de água e nutrientes do solo em virtude da maior absorção pelo micélio extraradicular (Smith & Read, 1997). Isso possibilita maior vantagem competitiva das plantas micorrizadas e facilita o estabelecimento e a sucessão da vegetação (Melloni et al., 2003). Assim, o conhecimento da capacidade das espécies nativas em formar micorrizas e de se beneficiar das mesmas, torna-se essencial quando se pretende ter sucesso na revegetação de matas (Carrenho et al., 2001).

Segundo Siqueira et al. (1998), o grau de colonização micorrízica e a responsividade à micorrização de espécies arbóreas decresce com o avanço do grau de sucessão. Resultados semelhantes foram relatados por Zangaro et al. (2000), demonstrando que a dependência micorrízica é alta em espécies pioneiras de sucessão e muito baixa em espécies tardias de sucessão.

Neste sentido, o acentuado micotrofismo das arbóreas pioneiras e secundárias iniciais e o ganho adicional no aumento da capacidade competitiva individual destas espécies, podem colocar a associação micorrízica como um dos principais fatores bióticos para a instalação e o avanço do processo sucessional (Zangaro et al., 2000).

A ausência de propágulos de FMA nos primeiros estádios da sucessão vegetal impede o estabelecimento de espécies micotróficas obrigatórias, favorecendo as não micotróficas ou micotróficas facultativas. Nos estádios mais avançados, a presença de propágulos de FMA permite o estabelecimento de espécies micotróficas obrigatórias, que passam a dominar os últimos estádios sucessionais (Francis & Read, 1994), embora os fungos possam estar presentes já nos primeiros estádios de sucessão.

Diversidade vegetal sobre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares

A planta hospedeira é um dos principais fatores que regulam a composição e a estrutura das comunidades de FMA, pois cada fase de seu desenvolvimento, como germinação de esporos, crescimento das hifas, colonização radicular e esporulação é influenciada pelas raízes das plantas (Bever et al., 1996).

De modo geral, as culturas apresentam diferentes graus de dependência micorrízica (Hartnett & Wilson, 2002) e especificidade, em relação à espécie de FMA e, conseqüentemente, alteram a densidade de inóculo e a ocorrência destes no solo (Eom et al., 2000). Como as espécies desses fungos não são igualmente eficientes em incrementar o crescimento das plantas (Miranda & Miranda, 2001), as alterações na composição da comunidade vegetal, pode alterar a contribuição dos FMA em geral (Bever, 2002).

Lovelock et al. (2003) sugerem que composição e diversidade de espécies vegetais possam ser influenciadas pela riqueza de FMA devido às diferenças de efetividade da associação, a qual tem influência direta no recrutamento de plântulas. Dentro deste contexto, a manutenção de um reservatório genético de FMA é fundamental para a conservação da diversidade florística e a para estabilidade dos ecossistemas (Read, 1998).

Outros fatores ambientais influenciam o desenvolvimento e a diversidade dos FMA. Entre os fatores abióticos, estão os fatores climáticos, especialmente luminosidade e temperatura, e propriedades edáficas do solo, como acidez, umidade, teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, textura, compactação e aeração; entre os fatores bióticos, destaca-se a interação com outros grupos de organismos (Moreira & Siqueira, 2006).

Abbott & Gazey (1994) sugeriram que pode ser vantajoso manter altos níveis de diversidade de espécies de FMA no solo, independentemente de sua contribuição individual para a formação da micorriza. Essa situação pode proporcionar oportunidade para espécies eficientes predominarem quando as condições do solo, modificadas com as práticas agrícolas, forem propícias. Segundo Heijden et al. (1998), o aumento na riqueza de espécies pode resultar no aumento da produtividade das culturas, uma vez que existe maior possibilidade de se incluir um isolado muito eficiente para as plantas.

O estabelecimento e o estágio da simbiose micorrízica podem ser afetados pelo manejo adotado no agrossistema (Moreira & Siqueira, 2006). Sistemas de baixos insumos, cultivo mínimo, adição de matéria orgânica e diversificação de hospedeiro podem aumentar a colonização micorrízica (Galvez et al., 2001). Entretanto, segundo Moreira & Siqueira (2006), a monocultura prolongada seleciona fungos de rápido crescimento e esporulação, ocorrendo uma seleção para sobrevivência e não para eficiência no hospedeiro. O cultivo de plantas intercalares, como prática de manejo, pode alterar o número de esporos de FMA nativos ou introduzidos, e a população destes fungos, dependendo da planta hospedeira (Baumgartner et al., 2007).

O conhecimento da diversidade das populações de FMA, seu papel e interações com o meio são requisitos básicos para o estabelecimento de manejo que permita o aumento do crescimento da planta e a sobrevivência e a persistência de espécies fúngicas, em um determinado ambiente (Antoniolli, 1999). A presença de cada espécie na população de FMA nativos é resultado de suas interações com o solo, clima, planta hospedeira, outros FMA e a biota do solo (Collozzi-Filho & Balota, 1994).

Referências Bibliográficas

ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D.; GAZEY, C. Selection inoculant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Methods of Microbiology**, v. 24, p.1-21, 1992.

ABBOTT, L.K.; GAZEY, C. An ecological view of the formation of the VA mycorrhizas. **Plant and Soil**, v.159, p.69-78, 1994.

AGUIAR, R.L.F. **Uso e propriedades do solo: efeitos nas micorrizas arbusculares**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco: Recife - PE, 2004, 63 p.

ALVES, L.J. **Efeito da fragmentação florestal sobre as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares da floresta atlântica do extremo sul da Bahia**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia: Salvador - BA, 2004, 67 p.

ANDRADE LIMA, D. **O domínios das caatingas**. Recife: UFRPE - Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, CNPq, 1992, 48p.

ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; LEITE, U.T.; BARBOSA, M.R.V. Análise de duas fitofisionomias da caatinga com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne**, v. 11, p. 253-262, 2005.

ANTONINO, A.C.D.; SAMPAIO, E.V.S.B.; DALL'OLIO, A; SALCEDO, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.29-34, 2000.

ANTONIOLLI, Z.I. **Arbuscular mycorrhizal community in a permanent pasture and development of species-specific primers for detection and quantifications of two AM fungi**. Thesis of doctorado. University of Adelaide: Adelaide, 1999, 160 p.

AZCÓN-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. Applying micorrhizae biotechnology to horticulture: significance and potentials. **Scientia Horticulturae**, v.68, p. 1-24. 1997.

BARTZ, M. L. C.; CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; FILHO, C.; TORMENA, C. A. Comparação entre as técnicas de amostragem direta em campo e cultura-armadilha para mensuração da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. **Hoehnea**, v.35, p.159-164, 2008.

BAUMGARTNER, K.; SMITH, R.F.; BETTIGA, L. Weed control and cover crop management affect mycorrhizal colonization of grapevine roots and arbuscular mycorrhizal fungal spore populations in a Califórnia vineyard. Disponível em <<http://www.springerlink.com.br>>. Acesso em: 12 ago. 2007.

BENTIVENGA, S. P.; MORTON, J. B. Stability and heritability of fatty acid methyl ester profiles of glomalean endomycorrhizal fungi. **Mycological Research**, v.98, p. 1419-1426, 1994.

BENTO, M.M. **Fontes de matéria orgânica na composição do substrato para produção de mudas micorrizadas de maracujazeiro**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ: Piracicaba - SP, 1997, 59 p.

BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 53-88, 2006.

BEVER, J.D. Host-specificity of AM fungal populations growth rates can generate feedback on plant growth. **Plant and Soil**, v.244, p. 281-290, 2002.

BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in mown grassland. **Journal of Ecology**, v.84, p.71-82, 1996.

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M. M.; WRIGHT, S. F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 445–455, 2002

BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J.O.; VASCONCELLOS, C.A.; PURCINO, A.A.C. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p. 250-260, 2001.

BRITO, O.R.; VENDRAME, P.R.; BRITO, R.M. Alterações das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 33-40, 2005.

BROWN, S.; LUGO, A.E. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development restoration. **Ecology**, v.2, p. 97-111, 1994.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. P.; COSTA, M. B. B.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2ª ed. Rio e Janeiro: ASPTA, 1992. 346 p.

CAPRONI, A. L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA.** Tese de doutorado - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2001, 205 p.

CARAVACA, F.; ALGUALCIL, M.M.; BAREA, J.M.; RÓLDAN, A. Survival of inocula and native AMF fungi species associated with shrubs in degraded Mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 227-233, 2005.

CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, F.; GRACIA, C.; ROLDÁN, A. Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plants species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. **Geoderma**, v. 108, p. 133-144, 2002.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p. 1669-1667, 1999.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botânica Brasílica**, v. 15, p.115-124, 2001.

CAVALCANTE, U.M.T.; MAIA, L.C.; COSTA, C.M.C.; CAVALCANTE A.T.; SANTOS, V.F. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares, da adubação fosfatada e da esterilização do solo no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.26, p. 1099-1106, 2002.

CAVALCANTI, N.B.; RESENDE, G.M.; BRITO, L.T.L. Desenvolvimento do umbuzeiro (*Spodias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p. 212-213, 1999.

COLLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro e leguminosas de verão. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 5., 1994, Florianópolis. **Resumos...**Florianópolis, 1994, p.17.

CORNEJO, P.; MEIER, S.; BORIE, G.; RILLIG, M.C.; BORIE, F. Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration. **Science of the Total Environment**, v. 406, p. 154-160, 2008.

COSTA, C.M.C.; MAIA, L.C.; CAVALCANTE, U.M.T.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p. 893-901, 2001.

DODD, J.C. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro – and natural ecosystems. **Outlook on Agriculture**, v. 29, p. 55 - 62, 2000.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L.H.P.; LIMA, P.C.F.; OLIVEIRA, M.C.; OLIVEIRA, V.R.; ALBUQUERQUE, S.G.; NASCIMENTO, C.E.S.; CAVALCANTE, J. Estratégias para uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Workshop de avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Petrolina, PE, 2000. 23 p.

ELFSTRAND, S.; HEDLUND, K.; MARTENSSON, A. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. **Applied Soil Ecology**, v.35, p. 610-621, 2007.

EOM, A.H.; HARTNETT, D.C.; WILSON, G.W.T. Host plant species on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, v.122, p. 435-444, 2000.

ESPÍNOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R.; SOUZA, F.A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p. 339-347, 1998.

FITTER, A.H.; MOYERSON, B. Evolutionary trends in root-microbe symbioses. In: SILVERTOWN, J.; FRANCO, M. HARPER, J.L. (eds.) **Plant life histories**. Cambridge University Press. p. 265-282, 1997.

FRANCIS, R.; READ, D.J. The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. **Plant and Soil**, v.159, p.11-25, 1994.

FREIRE, N.C.F.; PACHECO, A.P. Aspectos da detecção de áreas de risco à desertificação na região de Xingó. In: ANAIS XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** INPE, 2005, p. 525-532

GADKAR, V.; DAVID-SCHWARTZ, R.; KUNIK, T.; KAPULNIK, Y. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. **Plant Physiology**, v.127, p. 1493-1499, 2001

GALVEZ, L.; DOUDS, D.D.; DRINKWATER, L.E.; WAGONER, P. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. **Plant and Soil**, v. 228, p. 299-308, 2001.

GARRIDO, M.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. (eds.) **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Ed. Universitária, 2008, p. 123-140.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 214-218, 2002.

GOMES, S.P.; TRUFEM, S.F.B. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zygomycota) na ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo – SP. **Acta Botânica Brasílica**, v.12, p. 393-402, 1998.

GONZÁLEZ-CHAVÉZ, M.C.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution**, v. 130, p. 317-323, 2004.

GRYNDER, M.; HRSELOVÁ, H.; SUDOVÁ, R.; GRYNDLEROVÁ, H.; REZÁCOVÁ, V.; MERHAUTOVÁ, V. Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular fungus *Glomus calaroideum* BEG23 is stimulated by humic substances. **Mycorrhiza**, v. 15, p. 483-488, 2005

GUPTA, M.L.; PRASAD, A.; RAM, M.; KUMAR, S. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. **Bioresource Technology**, v.81, p. 77-79, 2002.

HARTNETT, D.C.; WILSON, G.W.T. The role of mycorrhizas in plant community structure and dynamics: lessons from grasslands. **Plant and Soil**, v. 244, p. 319-331, 2002.

HALVORSON, J.J.; GONZALEZ, J.M. Bradford reactive soil protein in Appalachian soils: distribution and response to incubation, extraction reagent and tannins. **Plant and Soil**, v. 286, p. 339–356, 2006

HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGOLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v.6, p. 69-72, 1998.

HEIJDEN, M.G.A.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. **New Phytologist**, v. 157, p. 569-578, 2003.

HERRMAN, S.; OELMMULLER, R.; BUSCOT, F. Manipulation of the onset of ectomycorrhiza formation by indole-3-acetic acid, activated charcoal or relative humidity in the association between oak microcuttings and *Piloderma croceum* influence on plant development and photosynthesis. **Journal Plant Physiology**, v. 161, p. 509-17, 2004.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA AGRICULTURA. Projeto Áridas. Disponível em: <<http://www.iica.org.br/2001/projaridas/>> Acesso em: 10 ago. 2002.

ISHAC, Y.Z.; EL-HADDAD, M.E.; DALF, M.J.; RAMADAN, E.M.; EL-DEMERDASH, M.E. Effect of seed inoculation, mycorrhizal infection and organic amendment on wheat growth. **Plant and Soil**, v.90, p.373-382, 1986.

JANOS, D.P. Mycorrhiza applications in tropical forestry: are temperate-zone approaches appropriate ? In: NG, F.S.P. (ed.). **Tress and mycorrhiza**. Kuala Lumpur: Florest Research Institute, p. 133-188, 1988.

JANOS, D.P. Mycorrhizas, sucession, and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J.C.; MAGAN, N.; GADD, G.M. (ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, p. 129-162 (British Mycological Society Symposium, 20).

JANOS, D.P. VA mycorrhizas in humid tropical ecosystems. In: SAFIR, G.R. (ed.) **Ecophysiology of VA mycorrhizal plants**. Boca Raton: CRC, p. 107-134, 1987.

JANOS, D.P.; GARAMSZEGI, S.; BELTRAN B. Glomalin extraction and measurement. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 728-739, 2008.

JASPER, D.A. Management of mycorrhizas in revegetation. In: ROBSN, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (eds.) **Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture, and forestry**. Boston: Kluwer Academic, p. 211-219, 1994.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J.M. The contribution of arbuscular fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v.37, p. 1-16., 2003.

JOHNSON, N.C.; PFLEGER, F.L. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BETHLENFALVAY, G.L.; LINDERMAN, R.G. (eds). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. ASA/CSSA/SSSA: Madison. p. 71-97, 1992.

KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A.; CARPANEZZI, A.A. Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR. Campinas, **Anais...** Fundação Cargill, Campinas, p. 130-143, 1989.

KENDRICK, P.; CRANE, P.R. The origin and early evolution of plants on land. **Nature**, v.389, p.33-39, 1997.

KONDEN, E.A.; ALVARENGA, R.C. **Cultivo do milho: adubação orgânica**. Sete Lagoas: EMBRAPA – CNPMS, 2005, 5p. (Comunicado técnico, 54).

LABIDI, S.; NASH, H.; ZOUAGUI, M.; WALLANDER, H. Effects of compost addition on extra-radical growth of arbuscular mycorrhizal fungi in *Acacia tortylis* ssp. *radiana* savanna in a pre-Saharan area. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 184-192, 2007.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. da. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: UFPE, 2003. 804p.

LEAL, P.L.; STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, p. 111-121, 2009.

LIU, R.J.; LUO, X.S. A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 128, p. 89-92, 1994.

LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesículo arbusculares (MVA) e seus efeitos sobre as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p.1-19. 1983

LOVELOCK, C.E., ANDERSEN, K.; MORTON, J.B. Influence of host tree species and environmental variables on arbuscular mycorrhizal communities in tropical forests. **Oecologia**, v. 135, p. 268–279, 2003.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungal across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, v. 92, p. 278-287, 2004.

MAIA, L.C.; TRUFEM, S.F.B. Fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares em solos cultivados no Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, v.13, p.89-95, 1990

MARSCHNER H; DELL B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.159, p. 89-102, 1994.

MARTINS, C.R.; MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.665-674, 1999.

MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTTOYA, L.; CURCIO, G.R.; RACHWALL, M.F.G.; CAMARGO, C.M.S.; BATTI, A.M.B. Microrganismos e auto-sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.440-445, 1992.

MEHROTRA, V.S. Arbuscular mycorrhizal associations of plants colonizing coal mine spoil in India. **Journal of Agricultural Science**, v.130, p. 125-133, 1998.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p. 267-276, 2003.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no Semi-árido paraibano. In: SILVEIRA, L.M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (eds.). **Agricultura familiar e agroecologia no Semi-árido: avanços a partir do Agreste da Paraíba**. Rio de Janeiro: AS-PTA, p.249-260, 2002.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p. 29-44, 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Agenda 21 brasileira – Bases para discussão. Brasília, 2000. 196 p.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. **Seleção e recomendação de uso de espécies de fungos micorrízicos arbusculares**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 3p. (Comunicado técnico, 52).

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica de solo**. Lavras: UFLA, 2006, 729p.

MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with and emendation of Glomaceae. **Mycotaxon**, v. 37, p. 471-491, 1990.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; WHEELER, W.W. Germplasm in the International Collection of arbuscular and Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation, and storage. **Mycotaxon**, v.48, p.491-528, 1993.

MORTON, J.; FRANKE, M. CLOUD, G. The nature of fungal species in Glomales. In: READ, D.J.; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H.; ALEXANDER, I.J. (eds). **Mycorrhizas in Ecosystems**. University Press, p. 65-73, 1994.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; BEVER, J.D. Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes). **Canadian Journal of Botany**, v. 73, p. 25-32, 1995.

MORTON, J.B.; REDECKER, D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, base on concordant molecular and morphological characters. **Mycologia**, v.93, p. 181-195, 2001.

NICHOLS, K.A. **Characterization of glomalin – a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi**. Ph.D. Thesis, University of Maryland, College Park, MD, 2003. 285 p.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, p. 985-997, 2005.

OEHL, F.; SIEVERDING, E. *Pacispora*, a new vesicular arbuscular mycorrhizal fungal genus in the Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany**, v. 78, p. 72- 82, 2004.

PEIXOTO, J.R.; PADUA, T. Efeito da matéria orgânica, do superfosfato simples e do cloreto de potássio na formação de mudas do maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.419-422, 1989.

PFEFFER, P.E.; DOUDS JUNIOR, D.D.; BÉCARD, G.; SHACHAR-HILL, Y. Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology**, v.20, p. 587-598, 1999.

PRATON, A.Z.; MARTINS, M.A. Utilização do resíduo industrial Ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpinifolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.55-63, 2001.

PURIN, S.; RILLING, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalina: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, p. 123-130, 2007.

READ, D. Plants on the web. **Nature**, v. 396, p.22-23, 1998

RHODES, L.H.; GEDERMANN, J.W. Nutrient translocation in vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: Cook CB, Pappas PW, Rudolph ED, eds. **Cellular interactions in symbiosis and parasitism**. Columbus: Ohio State University Press, 1980. p.173-195.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v.233, p.167-177, 2001.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, v. 253, n.2, p.293-299. 2003.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 355–363, 2004.

RILLIG, M.C.; STEINBERG, P.D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification ? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, p. 1371–1374, 2002.

RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas: Campinas – SP, 1992, 224p.

RODAL, M.J.N.; SAMPAIO, E.V.S.B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍLIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C.F.L. (eds). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste e Centro Nordestino de Informações sobre Plantas. APNE/CNIP, p. 11-24, 2002.

ROOSE, E.; BARTHES, B. Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa: a contribution from Francophone research. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.61, p.159-170, 2001.

ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2001, 58 p.

ROSIER, C.L.; HOYE, A.T.; RILLIG, M.C. Glomalin-related soil protein: assessment of current detection and quantification tools. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 2205–2211, 2006

RUIVO, M.L.P. Recuperação de áreas de mineração: uma experiência bem sucedida na Amazônia. In: FERREIRA, E.J.G.; SANTOS, G.M.; LEÃO, E.I.M.; OLIVEIRA, I.A. (eds.).

Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia. Manaus: INPA, 1993. p.383-404.

SABOURIN, E.; SILVEIRA, L.M.; TONNEAU, J.P.; SIDERSKY, P. **Fertilidade e Agricultura Familiar: um estudo sobre o manejo da biomassa.** Esperança: AS-PTA/CIRAD, 2000.

SAGGIN JUNIOR, O. J.; LOVATO, P. E. Aplicação de micorrizas arbusculares na produção de mudas e plantas micropropagadas.. In: SIQUEIRA, J.O; MOREIRA, F.M.S; LOPES, A.S; GUILHERME, L.R.G; FAQUIN, V; FURTINI NETO, A.E; CARVALHO, J.G. (org.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.** Lavras: SBCS e UFLA/DCS, p. 725-773, 1999

SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R. Micorriza arbuscular – papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In: AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. **Processos biológicos no sistema solo-planta.** Embrapa Agrobiologia – Brasília – DF, p. 101-149, 2005.

SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the brazilian caatinga. In: BULLOCK, S.H.; HAROLD, A.M. & MEDINA, E. (eds.). **Seasonally dry tropical forests.** Cambridge: University Press, Cambridge, p.35-63. 1995.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. Capacidade de suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 269-279. 1995.

SCHOUBER, J. **Preservação e uso racional do único bioma exclusivamente nacional.** Disponível em: <[http://www. http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v54n2/14786.pdf](http://www.cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v54n2/14786.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2007.

SCHÜBLER A.; SCHWARZOTT D.; WALKER C. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, v. 105, p. 1413-1421, 2001.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems.** Technical Cooperation. Eschborn: Federal Republic of Germany, 1991. 317 p.

SIEVERDING, E.; OEHL, F. Revision of *Entrophospora* and description of *Kuklospora* and *Intraspora*, two new genera in the arbuscular mycorrhizal Glomeromycetes. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 80, p.69-81, 2006.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; CORREIA, M.E.F.; CORREIA, M.E.F.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Fungos micorrízicos arbusculares em áreas no entorno do parque estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Caatinga**, v.19, p.01-10, 2006.

SILVA, F.S.B. **Fase assimiótica, produção, infectividade e efetividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em substratos com adubos orgânicos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: PE, 2006, 296 p.

SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B.; LIMA, P.C.F. 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**, v.24, p.135-143, 2001.

SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II - Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 51-61, 2007.

SILVEIRA, A.P.D.; AZEVEDO, I.C.; OLIVEIRA, E.; MELETTI, L.M.M. Crescimento de plantas micorrizadas de maracujazeiro sob influência da adubação fosfatada e da matéria orgânica. In: CONGRESSO LATINO-AMERICA DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM. Seção trabalhos voluntários.

SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M.(Eds.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa - SPI, p.151-194, 1994.

SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C.; CURI, N.; ROSADO, S.C.S.; DAVIDE, A.C. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to sucessional groups in South. Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 107, p. 241-252, 1998.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo, fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS, Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 236 p.

SMITH, M.G.R.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.39, p.221-244, 1988

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2º ed. London: Academic Press, 1997. 605 p.

SOEDARJO, M.; HABTE, M. Vesicular-arbuscular mycorrhizal effectiveness in an acid soil amended with fresh organic matter. **Plant and Soil**, v. 149, p. 197-203, 1993.

SOUZA, F.A.; SILVA, E.M.P. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O. (ed.) **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**, Lavras: UFLA/DCS/DCF, p. 255-290, 1996.

ST.JOHN, T.V.; COLEMAN, D.C.; REID, C.P.P. Association of vesicular-arbuscular mycorrhizal hyphae with soil organic particles. **Ecology**, v.64, p.957-959, 1983.

TANG, C.; YU, Q. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. **Plant and Soil**, v.215, p.29-38, 1999.

TRESEDER, K.K.; TURNER, K.M. Glomalin in ecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p. 1257-1266, 2007.

TRINDADE, A.V. **Crescimento e composição mineral de mudas de *Eucalyptus grandis* em resposta à inoculação com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e à aplicação de composto orgânico**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa: Viçosa – MG, 1992. 84 p.

TRINDADE, A.V.; SIQUEIRA, J.O.; ALMEIDA, F.P. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares em solo não fumigado para mamoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 505-513, 2000.

VETTERLEIN, D.; HÜTTL, R. Can applied organic matter fulfill similar functions as soil organic matter? Risk-benefit analysis for organic matter application as a potential strategy for rehabilitation of disturbed ecosystems. **Plant and Soil**, v.213, p.1-10, 1999.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTEREN VAN, J.T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. **Science of the Total Environment**, v.392, p. 130-136, 2008.

WALKER, C.; BLASZKOWSKI, J.; SCHWARZOTT, D.; SCHUBLER, A. *Gerdemannia* gen. nov., a genus separated from *Glomus*, and Gerdemanniaceae fam. nov., a new family in the Glomeromycota. **Mycological Research**, v. 108, p. 707- 718, 2004.

WALKER, C.; SCHÜBLER, A. Nomenclatural clarifications and new taxa in the Glomeromycota. **Mycological Research**, v. 108, p. 979-982, 2004.

WARDLE, D.A. **Communities and ecosystems: Linking the aboveground and belowground components**. Princeton: Princeton University Press, 2002. p.457.

WILSON, J.M.; TRINICK, M.J. Factors affecting the estimation of numbers of infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi by the Most Probable Number method. **Australian Journal of Soil Research**, v.21, p. 73-81, 1982.

WHIFFEN, L.K.; MIDGLEY, D.J.; McGEE, P.A. Polyphenolic compounds interfere with quantification of protein in soil extracts using the Bradford method. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p.691–694, 2007

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v.181, p.193–203, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v.161, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.198, v. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology & Fertility of Soils**, v.31, p.249–253, 2000

WRIGHT, S.F.; GREEN, V.S.; CAVIGELLI, M.A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 546-549, 2007.

YAO, Q.; LI, X.L.; AI, W.; CHRISTIE, P. Bi-directional transfer of phosphorus between red clover and perennial ryegrass via arbuscular mycorrhizal hyphal links. **European Journal of Biology Soil**, v.39, p.47-54, 2003.

ZAMBOLIM, L.; REIS, M.A.; COSTA, L.M. Substratos para multiplicação do fungo micorrízico vesículo-arbuscular *Glomus eutinicum*. **Fitopatologia Brasileira**, v.17, p.28-31, 1992.

ZANGARO, W.; BONONI, V.L.R.; TRUFEM, S.B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.16, p. 603-622, 2000.

ZANGARO, W.; NISHIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi. Paraná. **Cerne**, v.8, p.77-87, 2002.

CAPÍTULO 1

DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES APÓS APLICAÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES APÓS APLICAÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS NO SEMI-ÁRIDO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO: Os efeitos da adubação orgânica sobre os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) geralmente são benéficos, uma vez que as melhorias das características do solo também favorecem o crescimento fúngico. Contudo, efeitos inibitórios também têm sido observados, e estão principalmente associados, dentre outros fatores, ao tipo e quantidade do adubo orgânico. No presente estudo, avaliou-se o efeito da adubação orgânica com gliricídia e/ou esterco de caprino sobre a comunidade de FMA em sistemas consorciados com milho, feijão macassar e algodão no semi-árido paraibano. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. As culturas avaliadas foram milho (*Zea mays*), feijão macassar (*Vigna unguiculata*) e algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum*) e os sistemas de adubação orgânica foram: E – esterco incorporado no solo antes do plantio; G – gliricídia incorporada no solo antes do plantio; E + G – esterco e gliricídia incorporados no solo antes do plantio; GC – gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; E+GC – esterco incorporado no solo antes do plantio e gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; T - tratamento testemunha (sem adição de adubo). Gliricídia e esterco de caprino foram aplicados na dose equivalente a 20 t ha⁻¹ de matéria seca para esterco e 20 t ha⁻¹ de matéria fresca para gliricídia, nos tratamentos com aplicação de somente um adubo, e 10 t ha⁻¹ de matéria seca de esterco e 10 t ha⁻¹ de matéria fresca de gliricídia nos tratamentos com a aplicação de ambos os adubos. Os experimentos, incluindo as culturas e os sistemas de adubação, foram iniciados em 2006 e repetidos em 2007. Não foi possível identificar o sistema de adubação que mais favoreceu a comunidade de FMA associada ao milho e feijão, contudo estes foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos. Em ambos os anos, o sistema de adubação E+GC favoreceu a produção de esporos e de glomalina pelos FMA no solo rizosférico do algodoeiro. Em 2007, independentemente do sistema de adubação e da cultura, houve aumento significativo da densidade de esporos, colonização micorrízica, produção de glomalina e riqueza de espécies de FMA. Os sistemas de adubação E e E+GC foram os que apresentaram maior riqueza de espécies, independentemente do ano e da cultura.

Palavras chave: associação micorrízica, *Gliricidia sepium*, esterco caprino.

DIVERSITY AND ACTIVITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AFTER APPLICATION OF ORGANIC FERTILIZERS IN THE SEMI-ARID REGION OF NORTHEASTERN BRAZILIAN

ABSTRACT: The effects of organic fertilization on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are usually beneficial, since the improvement of soil characteristics also favors fungal growth. However, inhibitory effects have also been observed, which are mainly associated with, among other factors, the type and quantity of organic fertilizer. The objective of this study was to evaluate the effect of organic manure with gliricidia and/or goat manure on the AMF community in intercropping systems with maize, beans and cotton in the semi-arid region of Paraíba. The experiment was conducted in a randomized block design with 4 replications. The evaluated cultures were maize (*Zea mays*), cowpea (*Vigna unguiculata*) and cotton (*Gossypium hirsutum*) and the fertilization systems were: E – manure incorporated into the soil before planting; G – gliricidia incorporated into the soil before planting; E+G – manure and Gliricidia incorporated into soil before planting; GC – Gliricidia applied under coverage 45 days after planting; E+GC – manure incorporated into the soil before planting and Gliricidia applied under coverage 45 days after planting; T – control (without addition of fertilizer). Gliricidia and goat manure were applied at a dose equivalent to 20 t ha⁻¹ of dry matter for manure and 20 t ha⁻¹ of fresh Gliricidia material in the treatments with only one application of fertilizer, and 10 t ha⁻¹ of dry manure and 10 t ha⁻¹ of fresh gliricidia material in the treatments with the application of both fertilizers. The experiments, including the cultures and fertilization systems, were initiated in 2006 and repeated in 2007. It was not possible to identify which fertilization system favored the AMF community associated with maize and beans. However, they were superior to the treatment without the addition of organic fertilizers. In both years, the fertilization system E+GC favored the production of spores and glomalin in cotton. In 2007, independent of the fertilization system and the culture, there was a significant increase in spore density, mycorrhizal colonization, production of glomalin and richness of AMF species. The systems E and E+GC showed higher species richness than other fertilization systems, regardless of the year and the culture.

Keywords: mycorrhizal fungi, *Gliricidia sepium*, goat manure.

INTRODUÇÃO

Na região semi-árida, a variabilidade e a escassez das chuvas, além da baixa fertilidade do solo, são fatores que limitam fortemente a produtividade agropecuária (Menezes, 2002). O uso de fertilizantes químicos para melhorar a fertilidade do solo não é viável para a grande maioria dos agricultores da região semi-árida devido à irregularidade da ocorrência das chuvas, à baixa rentabilidade da atividade agrícola e ao baixo nível de capitalização (Sampaio, 1995). Neste caso, a adubação orgânica pode ser uma alternativa para a fertilização das culturas (Tiessen et al., 1994).

Embora o esterco seja o principal adubo orgânico utilizado na região semi-árida, a quantidade produzida nas propriedades é insuficiente, sendo capaz de adubar apenas 12% das áreas agrícolas nesta região (Garrido, 2005). Além disso, o esterco disponível nas propriedades rurais é de baixa qualidade, com baixo teor de nitrogênio e alto teor de lignina, o que pode levar à imobilização de N do solo e prejudicar as culturas agrícolas (Silva & Menezes, 2007; Menezes & Salcedo, 2007).

Além do esterco, a adubação verde com leguminosas é uma prática de baixo custo, que pode aumentar a produtividade em sistemas agrícolas familiares no semi-árido (Tiessen et al., 1994). Os adubos verdes podem suprir o N necessário para viabilizar a rápida decomposição do esterco e este suprir nutrientes como o P (Silva & Menezes, 2007).

Um exemplo de adubo verde com potencial de uso nas condições do semi-árido é a gliricídia, que, além de ser forragem de ótima qualidade para a criação animal (Barreto & Fernandes, 2001), apresenta alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico (Bala et al., 2003) e de produzir biomassa em condições de baixa disponibilidade hídrica (Marin et al., 2007). A biomassa de gliricídia tem baixos teores de compostos secundários e apresenta altas taxas de mineralização de N (Mafongoya et al., 2000).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são organismos importantes na nutrição de plantas, pois contribuem para aumentar a eficiência de absorção das raízes, principalmente de nutrientes de baixa mobilidade no solo, como P, Zn e Cu (Miranda et al., 2008). A suplementação de resíduos orgânicos no substrato para produção de inóculo de FMA aumenta a esporulação (Zambolim et al., 1992), possivelmente devido às melhorias na estrutura do solo, favorecendo o crescimento fúngico. Efeitos benéficos da adubação orgânica também foram observados sobre a infectividade (Palenzuela et al., 2002), colonização micorrízica (Mäder et al., 2000), produção de micélio extraradicular (Jones & Jakonsen, 1992) e produção de propágulos em campo (Gaur & Adholeya, 2005).

Os mecanismos pelos quais os adubos orgânicos beneficiam os FMA incluem a melhoria nas propriedades do solo e a presença de substâncias produzidas durante a decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo (Gryndler et al., 2005). Entretanto, embora o emprego de fontes orgânicas favoreça a fase intrarradicular, fatores como dose e tipo de resíduo, além de espécie vegetal e de FMA, devem ser considerados para o sucesso da simbiose em áreas de cultivo orgânico (Silva, 2006).

Respostas negativas do uso de resíduos orgânicos para a adubação do solo sobre os FMA também já foram observadas e são, geralmente, atribuídas ao elevado teor de nutrientes destes materiais, embora possam existir outros fatores, como substâncias fitotóxicas (Martín et al., 2002), composição do resíduo (Borie et al., 2002) e presença de patógenos (Elorrieta et al., 2003).

Dessa maneira, verifica-se que os efeitos da adubação orgânica sobre os FMA são ainda bastante variáveis, sendo, portanto necessários estudos que possibilitem melhor compreensão da relação adubo orgânico x FMA. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da adubação orgânica com gliricídia e/ou esterco caprino sobre os FMA, em um sistema consorciado de milho, feijão macassar e algodão, no semi-árido paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, que está localizado entre 7° 12' 23" de latitude Sul e 36° 49' 25" de longitude W Gr, com altitude média de 520 m. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico. A precipitação média anual do município é de 558 mm e a temperatura média anual é de 26 °C. Foram registradas as precipitações pluviométricas mensais no município, em 2006 e 2007, anos de condução do experimento (Figura 1).

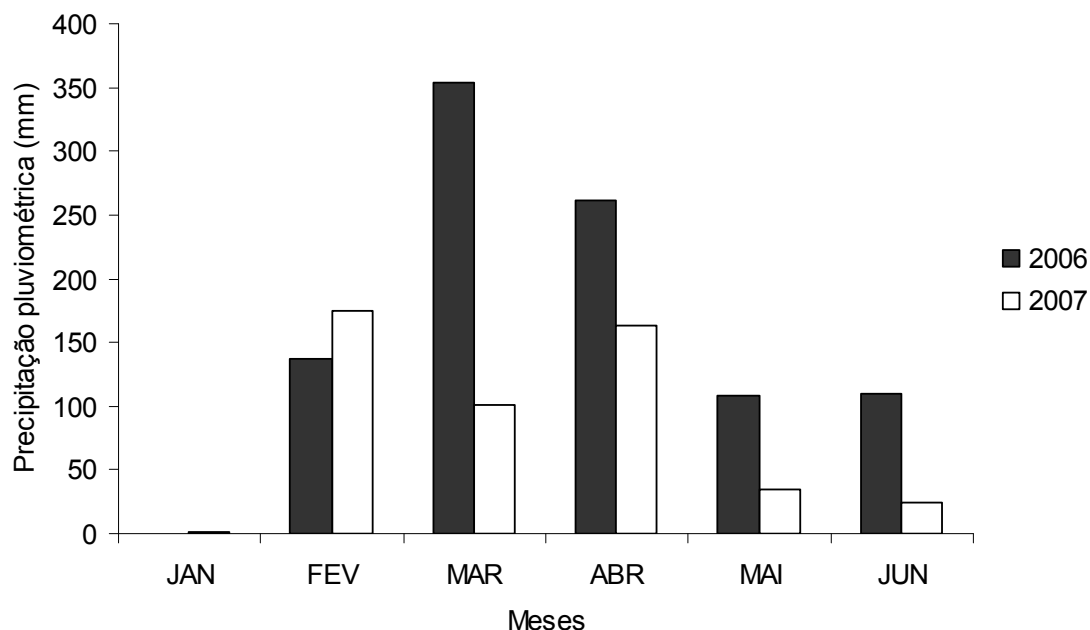


Figura 1. Precipitação mensal registrada em 2006 e 2007, em Taperoá, PB (AESAs, 2008).

Instalação do experimento

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram avaliados os consórcios de milho – *Zea mays* L. (variedade Sergipano), feijão macassar – *Vigna unguiculata* (L.) Walp (variedade moitinha) e algodão herbáceo *Gossipium hirsutum* L. (variedade H8 – Embrapa CNPA) e os sistemas de adubação orgânica: E – esterco incorporado no solo antes do plantio; G – gliricídia incorporada no solo antes do plantio; E + G – esterco e gliricídia incorporados no solo antes do plantio; GC – gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; E+GC – esterco incorporado no solo antes do plantio e gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; T - tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

O esterco de caprino e a gliricídia foram aplicados em doses equivalentes a 20 t ha⁻¹ de matéria seca para o esterco e 20 t ha⁻¹ de matéria fresca para a gliricídia, nos tratamentos com aplicações isoladas; e 10 t ha⁻¹ de matéria seca de esterco e 10 t ha⁻¹ de matéria fresca da gliricídia, nos tratamentos com aplicações conjuntas. Os adubos quando aplicados ao solo antes do plantio, foram incorporados com o auxílio de uma enxada manual e quando aplicados em cobertura foram dispostos na superfície do solo, sendo, em ambos os casos, espalhados por toda a parcela experimental. As parcelas experimentais tiveram dimensões de 5m x 7m, com área útil de 4m x 5m.

Anualmente, em 2006 e 2007, foram repetidas as incorporações de adubos e os plantios, logo após as primeiras chuvas, geralmente entre janeiro e março. A matéria seca da gliricídia e do esterco utilizados apresentaram em média, 34 e 12 g kg⁻¹ de N; 6,1 e 6,5 g kg⁻¹ de P; e 21 e 27 g kg⁻¹ de K, respectivamente, determinados segundo Embrapa (1999). Nos plantios, foram colocadas quatro sementes por cova e, posteriormente, feito o raleamento para manter duas plantas por cova. Foram realizadas três capinas ao longo do ciclo das culturas e as pragas foram combatidas com aplicação de óleo de nim (Ciociola Júnior & Martinez, 2002).

Análises química e física do solo nos sistemas de adubação

Amostras compostas de solo foram coletadas na camada de 0-15 cm em cada parcela experimental com os sistemas de adubação orgânica para análise química e física durante os anos de 2006 e 2007 (Tabela 1). As análises foram realizadas de acordo com metodologias propostas pela Embrapa (1999), seguindo os procedimentos: pH em H₂O (solo: 2,5 água, v/v); Ca⁺² e Mg⁺² (extraídos com KCl e determinados por absorção atômica); P, K⁺ e Na (extraídos com Mehlich I e determinados K⁺ e Na por fotometria de chama e P por colorimetria); C orgânico (determinado por oxidação úmida em dicromato de potássio); e granulometria pelo método do densímetro.

Tabela 1. Análises químicas e físicas do solo nas parcelas experimentais com os sistemas de adubação orgânica durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.

Sistema de adubação ¹	pH	P	Na	K	Ca	Mg	C.O.	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	H ₂ O	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹			g kg ⁻¹	areia	argila	silte
2006										
E	7,6	145,6	0,02	0,77	8,7	1,5	14,7	475	286	240
G	7,7	158,2	0,06	1,12	10,0	2,1	13,9	447	326	253
E+G	7,8	174,7	0,07	0,49	8,4	1,5	13,9	577	231	193
GC	7,7	159,2	0,08	0,46	8,5	1,7	11,6	607	206	188
E+GC	7,5	167,5	0,05	0,66	10,3	1,8	10,2	525	258	218
T	7,1	161,8	0,09	0,79	6,9	1,8	14,5	532	266	203
2007										
E	7,5	173,7	0,04	1,22	4,5	2,7	16,8	475	286	240
G	7,5	187,3	0,07	1,64	3,7	1,8	12,2	447	326	253
E+G	7,6	180,3	0,06	1,06	3,6	1,9	13,8	577	231	193
GC	7,9	164,5	0,04	0,86	3,2	1,8	12,7	607	206	188
E+GC	7,7	170,2	0,03	1,37	4,2	2,2	14,9	525	258	218
T	7,9	171,9	0,05	1,41	5,3	2,0	14,7	532	266	203

Sistema de adubação¹: E – esterco incorporado no solo antes do plantio; G – gliricídia incorporada no solo antes do plantio; E + G – esterco e gliricídia incorporados no solo antes do plantio; GC – gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; E+GC – esterco incorporado no solo antes do plantio e gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; T - tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

Coleta das amostras de solo e raízes

As coletas de amostras de solo rizosférico e de raízes das culturas foram realizadas em junho em 2006 e de 2007. As amostras foram coletadas na camada de 0-15 cm, e em seguida o solo foi seco ao ar, destorreado, homogeneizado e peneirado em malha de 2 mm de abertura. Raízes finas (<2mm) das culturas foram coletadas, lavadas em água e acondicionadas em recipientes plásticos, contendo álcool à 50%, para conservação até as análises.

Densidade de esporos, identificação das espécies de FMA e índices ecológicos

Os esporos de FMA foram extraídos de 50 g das amostras de solo pela técnica do peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguido de centrifugação em água e solução de sacarose 45% (Jenkins, 1964). Neste procedimento, o solo foi transferido para um recipiente contendo 1000 ml de água, homogeneizado e em seguida o sobrenadante vertido sobre três peneiras sobrepostas de 50µm, 100µm e 250µm. O material retido nas peneiras foi recolhido em um tubo de ensaio e submetido à centrifugação em água (3000 g), por 3 minutos, e em solução de sacarose 45% (2000 g), por 1 minuto. O sobrenadante foi vertido na peneira de 50µm e os esporos transferidos para placa canaletada e contados com auxílio de microscópio estereoscópico (40x).

Para identificação das espécies de FMA, foram montadas culturas armadilhas, nas quais amostras dos solos foram diluídas em areia autoclavada (1:1) e transferidas para vasos plásticos com capacidade para 500 mL, utilizando painço (*Panicum miliaceum* L.) como planta hospedeira. Após três ciclos de multiplicação, os esporos foram extraídos do solo, agrupados de acordo com as características morfológicas (cor, tamanho e forma) e montados em lâminas com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) e com Melzer + PVLG (1:1; v:v) (Morton et al., 1993). Para subsidiar a identificação, foi utilizada literatura especializada (Schenck & Perez 1988; Carrenho, 1998; INVAN, 2009; Blaszkowski, 2009). A riqueza de espécies de FMA foi determinada pelo número de espécies que ocorreram na área. A frequência de ocorrência das espécies foi estimada segundo a equação: $F_i = J_i/k \cdot 100$ onde, J_i = número de amostras nas quais a espécie ocorreu; k = número total de amostras de solo.

Quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina

O teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina foi quantificado pelo método de Wright & Upadhyaya (1998), no qual 0,25 g de solo foram autoclavados com 2 mL de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0) por 30 minutos, a 121 °C, e em seguida realizada centrifugação a 10000 g, durante 5 min. Conforme método de Bradford (1976), uma alíquota de 50 µL do sobrenadante, juntamente com 2,5 mL do reagente azul de comassie brilhante G-250, foram utilizados para quantificação do teor de glomalina. Albumina bovina sérica foi utilizada como padrão.

Colonização micorrízica

A percentagem de colonização micorrízica foi determinada utilizando-se o método de intersecção dos quadrantes da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980), após o processamento das raízes que consistiu da clarificação com KOH (10%) por 24 horas, em temperatura ambiente, seguida do tratamento com H₂O₂ alcalina, por 45 minutos, e com HCl (1%) por 3 minutos, e coloração com azul de Trypan (0,05%) (Koske & Gemma, 1989). Foram separados 100 segmentos de raízes coloridas para visualização de estruturas fúngicas (arbúsculos, vesículas e hifas), com auxílio de um microscópio estereoscópico (40x).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Os dados referentes à densidade de esporos e percentagem de colonização micorrízica foram transformados, respectivamente, por $(x + 0,5)^{1/2}$ e $\arcsin \sqrt{x/100}$ (Banzatto & Kronka 1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2006, os sistemas de adubação G, E+G e GC promoveram aumento da produção de esporos (81, 73 e 75 esporos em 50 g de solo, respectivamente) no solo rizosférico das plantas de milho (Tabela 2). No ano seguinte, o sistema E+G, continuou favorecendo a esporulação (278 esporos em 50 g de solo), contudo não diferiu significativamente do sistema E (258 esporos em 50 g de solo). Não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas de adubação com relação à colonização micorrízica, contudo em 2006, estes foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos. Com relação ao teor de PSRG, verificou-se em 2006 que com exceção do sistema E+G, os demais foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos. Em 2007, não houve efeito significativo dos sistemas de adubação sobre o teor de PSRG.

Os sistemas de adubação E e GC favoreceram a produção de esporos no solo rizosférico das plantas de feijão em 2006 (53 e 61 esporos em 50 g de solo). No ano seguinte, maiores valores foram observados no sistema G (292 esporos em 50 g de solo). Nos dois anos, não houve efeito significativo dos sistemas de adubação sobre a colonização

micorrízica. Com relação ao teor de PSRG, em ambos os anos com exceção do sistema G, os demais foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

Nos dois anos, a densidade de esporos, a colonização micorrízica e o teor de PSRG foram bastante variáveis nos sistemas de adubação, não sendo possível identificar o melhor sistema para as culturas do milho e feijão. Entretanto, em muitas situações, foi possível observar efeito significativo dos sistemas de adubação em comparação ao tratamento sem adição dos adubos.

Diversos estudos têm demonstrado que a utilização de leguminosas como adubos verdes e de esterco de animais tem apresentado efeito benéfico sobre a comunidade nativa de FMA. Aumentos na taxa de colonização micorrízica (Mader et al., 2000; Gaur & Adholeya, 2002), na densidade de esporos (Muthukumar & Udaiyan, 2002; Mohammed et al., 2003), no número de propágulos infectivos (Palenzuela et al., 2002; Oehl et al., 2004), na produção de glomalina (West et al., 2005; Purin et al., 2006) e na diversidade de espécies de FMA (Oehl et al., 2003; Oehl et al., 2004; Purin et al., 2006) freqüentemente têm sido registrados.

Várias são as possíveis explicações para o efeito benéfico da adubação orgânica sobre os FMA. Segundo Gryndler et al. (2005), substâncias húmicas como ácidos fúlvicos, resultantes da decomposição dos adubos orgânicos, ligam-se e removem cátions livres na solução do solo, que em baixa disponibilidade pode favorecer funções fisiológicas do micélio fúngico (absorção e transporte). O efeito benéfico dos adubos orgânicos sobre a estrutura do solo (García et al., 1998) também contribui para o desenvolvimento micelial dos FMA, uma vez que diminui a resistência mecânica ao crescimento das hifas (Joner & Jakobsen, 1995). Além disso, comunidades de bactérias que promovem a germinação dos esporos, aumentando a taxa de colonização pelos FMA (Johansson et al., 2004), são favorecidas pela compostagem de adubos orgânicos (Kim et al., 1997; Crecchio et al., 2001). Segundo Muthukumar & Udaiyan (2002), condições que favorecem o crescimento das plantas hospedeiras, especialmente do sistema radicular, como a adubação orgânica, proporciona também o estabelecimento da associação micorrízica, uma vez que aumentam as chances de contato entre a superfície das raízes e os propágulos de FMA no solo.

Tabela 2. Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR) e teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) em cultivo consorciado de milho, feijão e algodão sob diferentes sistemas de adubação orgânica, durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.

Sistema de adubação ¹	DE (50 g de solo)			CR (%)			PSRG (mg g solo ⁻¹)		
	M	F	A	M	F	A	M	F	A
Cultura ²									
2006									
E	58bB	53aB	46cB	45,3aB	32,0aB	52,3bB	0,81aB	0,53aB	0,44cA
G	81aB	23bB	22dB	50,0aB	33,2aB	50,9bB	0,71aA	0,22bB	0,45cA
E+G	73aB	35bB	67bB	42,9aB	29,8aB	52,6bA	0,46bB	0,53aB	0,60bA
GC	75aB	61aB	53cB	42,9aB	23,9aB	55,9aA	0,69aA	0,49aB	0,46cA
E+GC	39bB	23bB	100aB	48,8aB	26,1aB	59,7aA	0,59aB	0,43aB	0,74aA
T	43bB	44bB	80bB	25,1bB	35,3aB	47,6bA	0,25bB	0,23bB	0,41cA
CV (%)	14,74	14,49	15,67	19,06	14,29	15,00	18,30	17,49	24,91
2007									
E	258aA	181cA	248bA	60,4aA	61,4aA	58,6aA	1,16aA	1,14aA	0,06cB
G	174bA	292aA	156cA	61,8aA	62,9aA	59,0aA	0,76bA	0,82bA	0,10bB
E+G	278aA	224bA	158cA	61,2aA	61,5aA	50,1bA	1,28aA	1,35aA	0,18bB
GC	198bA	181cA	226bA	58,6aA	61,4aA	56,6aA	1,22aA	1,29bA	0,13bB
E+GC	225bA	229bA	376aA	59,8aA	60,0aA	59,9aA	1,49aA	1,36aA	0,24aB
T	202bA	242bA	235bA	60,2aA	62,3aA	52,2bA	1,44aA	0,80bA	0,12bB
CV (%)	14,74	14,49	15,67	19,06	14,29	15,00	18,30	17,49	24,91

Sistema de adubação¹: E – esterco incorporado no solo antes do plantio; G – gliricídia incorporada no solo antes do plantio; E + G – esterco e gliricídia incorporados no solo antes do plantio; GC – gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; E+GC – esterco incorporado no solo antes do plantio e gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; T - tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

Cultura²: (M) = Milho; (F) = Feijão macassar; (A) = Algodão.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam os sistemas de adubação em cada ano e letras maiúsculas comparam cada sistema de adubação entre os dois anos.

O sistema E+GC favoreceu a produção de esporos e de glomalina no solo rizosférico das plantas de algodão, em ambos os anos. Neste sistema, as plantas também apresentaram maior percentagem de colonização micorrízica em 2006, embora não tenha diferido estatisticamente do sistema GC (60 e 56%, respectivamente). A colonização micorrízica das plantas de algodão não diferiu significativamente entre os sistemas de adubação, em 2007,

entretanto os valores observados foram superiores ao sistema E+G e ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

Garrido (2009) verificou que no sistema E+GC houve maior produção de biomassa pelas plantas de algodão, e atribuiu ao crescimento mais lento da cultura, que proporcionou melhor aproveitamento dos nutrientes liberados gradativamente pelo esterco. Maior produção de biomassa possivelmente resultou em aumento da taxa fotossintética e consequentemente da alocação de fotossintatos para as raízes, estimulando a esporulação, a colonização micorrízica e produção de glomalina pelos FMA associados às plantas. A liberação gradativa de nutrientes neste sistema, além de favorecer a cultura por atender a demanda de nutrientes ao longo do seu ciclo, resultando em maior produção de biomassa pelas plantas, possivelmente também estimulou a comunidade de FMA.

Fontes orgânicas de nutrientes como esterco, compostos e resíduos de culturas, e fertilizantes minerais de lenta liberação, como as rochas fosfatadas, não parecem suprimir os FMA, podendo inclusive estimular estes microrganismos (Ryan et al., 1994; Baby & Manibhushanrao, 1996; Douds et al., 1997; Kabir et al., 1998; Joner, 2000; Boddington & Dodd, 2000). Quantidades moderadas de adubos orgânicos têm menor efeito adverso sobre os FMA em comparação com quantidades equivalentes de fertilizantes minerais, provavelmente devido à diferença temporal na disponibilidade do P e sua liberação gradual de acordo com a demanda da planta (Joner, 2000; Boddington & Dodd, 2000).

Em 2007, quando comparado com o ano de 2006, independentemente do sistema de adubação, observou-se aumento significativo da densidade de esporos (215 a 1270%) e da colonização micorrízica (95 a 257%), que pode ter representado um mecanismo de resistência dos FMA às condições adversas deste ano que teve baixa precipitação pluviométrica (Figura 1). Colonização radicular e esporulação são estratégias cruciais para sobrevivência dos FMA em condições adversas (Hart & Reader, 2002).

Com exceção da área cultivada com algodão, houve aumento do teor de PSRG no solo rizosférico do milho e do feijão, em todos os sistemas de adubação em 2007, comparado com o ano de 2006, variando de 107 a 576%. É provável que os FMA tenham utilizado estratégias de sobrevivência como mecanismo de defesa às condições adversas neste período, aumentando o número de propágulos, que conseqüentemente, proporcionaram também aumento do teor de glomalina no solo. Segundo Driver et al. (2005), a deposição da glomalina no solo é resultante, principalmente, da decomposição de esporos e hifas (>80%) e em menor grau da liberação passiva ou secreção hifálica.

Foi registrado um total de 21 espécies de FMA durante os anos de 2006 e 2007, pertencentes aos gêneros *Glomus* (12), *Acaulospora* (6), *Ambispora* (1), *Entrophosphora* (1) e *Kuklospora* (1) (Tabela 3). Embora o gênero *Glomus* seja composto pelo maior número de espécies catalogadas, sua alta ocorrência em ambos os anos, pode indicar uma possível relação com o pH do solo nas áreas (acima de 7,5), uma vez que espécies pertencentes a este gênero predominam em pH 6,0 a 8,0 (Siqueira & Franco, 1988).

De acordo com Carrenho (1998), espécies de *Glomus* também apresentam maior capacidade de adaptação a solos submetidos a diferentes variações nos teores de matéria orgânica, calagem e textura, demonstrando ser adaptáveis a diversas condições ambientais. Em outros estudos realizados em sistemas orgânicos (Oehl et al., 2003; Oehl et al., 2004; Focchi et al., 2004; Purin et al., 2006) também tem sido verificada a predominância de espécies de *Glomus*.

Espécies de *Acaulospora* tendem a ser encontradas em solos com pH menor que 6,5 (Maia & Trufem, 1990; Stürmer & Bellei, 1994; Gai et al., 2006). Contudo, neste trabalho foi observada a ocorrência de espécies deste gênero mesmo quando o pH do solo encontrava-se acima de 7,5. Silva et al. (2005) também relataram a ocorrência de espécies de *Acaulospora* em áreas com pH acima de 7,0, sendo possível que sejam tolerantes a ampla faixa de pH.

De modo geral, independentemente do sistema de adubação, houve aumento na riqueza de espécies (64%) em 2007, com o registro de *A. elegans*, *A. spinosa*, *E. infrequens*, *G. aggregatum*, *G. constrictum*, *G. eburneum-like*, *G. glomerulatum*, *G. sinuosum*, *G. tortuosum* e *K. colombiana*. É possível que o aumento da esporulação nos sistemas de adubação durante este ano, tenha possibilitado a recuperação de maior número de espécies de FMA. Os sistemas E e E+GC apresentaram maior riqueza de espécies (12 espécies) que os demais sistemas de adubação, independentemente da cultura e do ano. Oehl et al. (2004) também observaram maior diversidade de espécies de FMA em sistemas orgânicos que em outros sistemas de cultivo, dentre elas *A. longula*, *G. etunicatum*, *G. constrictum* e *G. mosseae* que também foram observadas no presente estudo. Purin et al. (2006) registraram a ocorrência de 20 espécies de FMA em pomares convencionais e 30 espécies de FMA em pomares orgânicos de maçã na região Sul do Brasil, dentre as quais: *A. morrowiae*, *A. spinosa*, *A. scrobiculata*, *E. infrequens*, *G. claroideum*, *G. etunicatum*, *G. mosseae* e *G. sinuosum*, também registradas neste estudo. Em sistemas orgânicos no leste da Pensylvania, EUA, Franke-Snyder et al. (2001) também registraram a ocorrência de *G. mosseae*, *G. etunicatum* e *G. claroideum*.

Tabela 3. Espécies de FMA em cultivo consorciado de milho, feijão e algodão sob diferentes sistemas de adubação orgânica, durante os dois anos de condução do experimento, em Taperoá, PB.

Espécie de FMA	Milho												Feijão						Algodão												*FR (%)					
													Sistema de adubação ¹																							
	E	G	E+G	GC	2006	2007	E	G	E+G	GC	E+GC	T	2006	2007	E	G	E+G	GC	E+GC	T	2006	2007	E+GC	T	2006	2007										
Ano	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007										
<i>Acaulospora elegans</i>																																				
<i>Acaulospora longula</i>																																				
<i>Acaulospora morrowiae</i>																																				
<i>Acaulospora scrobiculata</i>																																				
<i>Acaulospora foveoreticulata</i>																																				
<i>Acaulospora spinosa</i>																																				
<i>Ambispora gerdemannii-like</i>																																				
<i>Entrophospora infrequens</i>																																				
<i>Glomus aggregatum</i>																																				
<i>Glomus ambisporum-like</i>																																				
<i>Glomus claroideum</i>																																				
<i>Glomus constrictum</i>																																				
<i>Glomus eburneum-like</i>																																				
<i>Glomus etunicatum</i>																																				
<i>Glomus glomerulatum</i>																																				
<i>Glomus intraradices</i>																																				
<i>Glomus macrocarpum</i>																																				
<i>Glomus mosseae</i>																																				
<i>Glomus sinuosum</i>																																				
<i>Glomus tortuosum</i>																																				
<i>Kuklospora colombiana</i>																																				
Riqueza de espécies	6	6	4	3	5	3	4	3	5	3	3	2	5	4	4	4	3	4	3	4	3	7	4	5	3	3	3	4	3	4	4	5	4	3	2	-

Sistema de adubação¹: E – esterco incorporado no solo antes do plantio; G – gliricídia incorporada no solo antes do plantio; E + G – esterco e gliricídia incorporados no solo antes do plantio; GC – gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; E+GC – esterco incorporado no solo antes do plantio e gliricídia aplicada em cobertura 45 dias após o plantio; T - tratamento sem adição dos adubos orgânicos.

* FR = Frequência Relativa

É possível que a riqueza de espécies de FMA seja maior que a encontrada, principalmente com relação às espécies de *Glomus*. Apesar destas representarem 57% do total identificado, o tamanho e a semelhança morfológica entre os esporos dificultam a identificação das espécies (Maia et al., 2006). Além disso, a multiplicação de esporos em potes de cultura, não possibilita a recuperação e a identificação de todas as espécies presentes nas áreas. A produção eventual de esporos por algumas espécies e a presença de esporos inviáveis também dificultam a identificação das espécies (Souza, 2008).

Entrophosphora infrequens foi registrada exclusivamente no sistema E+G, nos plantios de milho. *A. scrobiculata*, *G. sinuosum* e *G. aggregatum* foram identificadas apenas no sistema E+GC, nos plantios de feijão. Adicionalmente, *A. elegans* e *G. eburneum-like* só ocorreram no sistema E, nos plantios de feijão e milho, respectivamente. *Glomus glomerulatum* foi registrado unicamente no sistema GC nos plantios de feijão. Na parcela em que foi realizado o plantio do algodão sem a aplicação de adubos orgânicos foi identificada *Kuklospora colombiana*. Segundo Bever et al. (1996), a cultura utilizada é o fator de maior influência na ocorrência e abundância relativa dos FMA no solo. Além disso, as condições locais determinam a seleção das espécies de FMA que são mais exigentes para adaptação ambiental e produzem respostas mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas (Stahl & Christensen, 1991).

Foram registradas 13, 15 e 11 espécies de FMA, independentemente dos sistemas de adubação orgânica e do ano, nos plantios de milho, feijão e algodão, respectivamente. *Glomus claroideum* e *G. etunicatum* apresentaram maior índice de ocorrência, independentemente da cultura e do sistema de adubação orgânica, em 2006 e 2007, respectivamente. Contudo, segundo Purin et al. (2006), é importante ressaltar que espécies com baixa frequência de ocorrência podem ser mais eficientes do que espécies com alta frequência, apesar destas últimas serem mais adaptadas ao solo e às condições climáticas.

CONCLUSÕES

1. Não foi possível identificar o sistema de adubação que mais favoreceu a comunidade de FMA associada ao milho e feijão, contudo estes foram superiores ao tratamento sem adição dos adubos orgânicos;
2. Em ambos os anos, o sistema de adubação E+GC favoreceu a produção de esporos e de glomalina na rizosfera do algodoeiro;

3. Em 2007, um ano seco, independentemente do sistema de adubação e da cultura, houve aumento significativo da densidade de esporos, colonização micorrízica, produção de glomalina (com exceção do algodão) e riqueza de espécies de FMA;
4. Os sistemas E e E+GC apresentaram maior riqueza de espécies que os demais sistemas de adubação, independente da cultura e do ano.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi parcialmente financiado com recursos do IAI (CRN2-014); do CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-9); e do Edital Facepe PPP 2006 (Processo APQ-0633-5.01/06). Os autores também agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. **Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba**. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvam> ensais Acesso em: 25 nov. 2008.

BABY, U.I.; MANIBHUSHANRAO, K. Influence of organic amendments on arbuscular mycorrhizal fungi in relation to rice sheath blight disease. **Mycorrhiza**, v.6, p. 201-206, 1996.

BALA, A.; MURPHY, P.; GILLER, K.E. Distribution and diversity of rhizobia nodulating agroforestry legumes in soil from three continents in the tropics. **Molecular Ecology**, v.12, p.917-930, 2003.

BANZATTO, D.V.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1992. 247 p.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, F.M. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1287-1293, 2001.

BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in mown grassland. **Journal of Ecology**, v.84, p.71-82, 1996.

BLASZKOWSKI, 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/index.html>. Acesso em: 20 set. 2009.

BODDINGTON, C.L.; DODD, J.C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. **Plant and Soil**, v. 218, p. 137-144, 2000.

BORIE, F.; REDEL, Y.; RUBIO, R.; ROUANET, J.L.; BAREA, J.M. Interactions between crop residues application and mycorrhizal developments and some root interface properties and mineral acquisition by plants in an acidic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.151-160, 2002.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms quantites of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analyses Biochemists**, v. 72, p. 248-254, 1976.

CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de FMA.** Tese de doutorado. Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo – SP, 1998, 135p.

CIOCIOLA JUNIOR, A.I.; MARTINEZ, S.S. **Nim: alternativa no controle de pragas e doenças.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2002 (Boletim Técnico, 67).

CRECCHIO, C.; CURCI, M.; MININNI, R.; RICCIUTI, P.; RUGGIERO, P. Short-term effects of municipal solid waste compost amendments on soil carbon and nitrogen content, some enzyme activities and genetic diversity. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p.311–318, 2001.

DOUDS, D.D.; GALVEZ, L.; FRANKE-SNYDER, M.; REIDER, C.; DRINKWATER, L.E. Effect of compost addition and crop rotation point upon VAM fungi. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.65, p. 257–266. 1997.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, p. 101-106, 2005.

ELORRIETA, M.A.; SUÁREZ-ESTRELA, F.; LÓPEZ, M.J.; VARGAS-GÁRCIA, M.C.; MORENO, J. Survival of phytopathogenic bacteria during waste composting. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.96, p. 141-146, 2003.

EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / Embrapa Solos**, Embrapa Informática agropecuária; organizador Fábio César da Silva. – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia de Tecnologia, 1999, 370 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. IN: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Programa e resumos...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258

FOCCHI, S.S.; SOGLIO, F.K.D.; CARRENHO, R.; SOUZA, P.V.D.; LOVATO, P.E. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n.5, p. 469-476, 2004.

FRANKE-SNYDER, M.; DOUDS JUNIOR, D.D.; GALVEZ, L.; PHILLIPS, J.G.; WAGONER, P.; DRINKWATER, L.; MORTON, J.B. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. **Applied Soil Ecology**, v.16, p. 35-48, 2001.

GAI, J.P.; FENG, G.; CAI, X.B.; CHRISTIE, P.; LI, X.L. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in southern Tibet. **Mycorrhiza**, v.16, p.191-196, 2006.

GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V.; ROLDÁN, A. Revegetation in semiarid zones: influence of terracing and organic refuse on microbial activity. **Soil Science Society American Journal**, v. 62, p. 670-676, 1998.

GARRIDO, M. S. **Adubação orgânica em sistemas agroecológicos do Nordeste**. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2005, 21p.

GARRIDO, M.S. **Adubação com gliricídia e esterco em culturas do semi-árido nordestino**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2009, 79 p.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Arbuscular mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p. 214-218, 2002.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and single isolate arbuscular mycorrhizal inocula in marginal soil amended with organic matter. **Journal of Plant Nutrition**, v.28, p.707-723, 2005.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v.46, p.235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, n.3, p.484-500, 1980.

GRYNDLER, M.; HRSELOVÁ, H.; SUDOVÁ, R.; GRYNDLEROVÁ, H.; REZÁCOVÁ, V.; MERHAUTOVÁ V.; Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular fungus *Glomus calaroideum* BEG23 is stimulated by humic substances. **Mycorrhiza**, v.15, p. 483-488, 2005

HART, M.H.; READER, R.J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.153, p. 335-344, 2002.

INVAM . **International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi**. Disponível em: <http://www.invam.caf.wvu.edu/>. Acesso em: 20 set. 2009.

JENKINS, W.R.A. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692. 1964.

JOHANSSON, J.; PAUL, L.R.; FINLAY, R.D. Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 48, p. 1-13, 2004.

JONER, E.J. The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover. **Biology and Fertility of Soil**, v. 32, p. 435–440. 2000

JONER, E.J.; JAKOBSEN, I. Growth and extra cellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenciad by soil organic mater. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p. 1153-1159, 1995

JONES, E.J.; JAKOBSEN, I. Enhanced growth of external VA mycorrhizal hyphae in soil amended with straw. In: READ, D.J.; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H.; ALEXANDER, I.J. (eds.). **Mycorrhizas in Ecosystems**. CAB International, Wallingford. 387 p. 1992.

KABIR, Z.; O'HALLORAN, I.P.; FYLES, J.W.; HAMEL, C. Dynamics of the mycorrhizal symbiosis of corn (*Zea mays* L.), effects of host physiology, tillage practice and fertilization on spatial distribution of extra-radical mycorrhizal hyphae in the field. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 68, p.151–163. 1998.

KIM, K.D.; NEMEC, S.; MUSSON, G. Effects of composts and soil amendments on soil microflora and *Phytophthora* root and crown rot of bell pepper. **Crop Protection**, v. 16, p.165–172, 1997.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N.A Modified procedure for staining roots to detect mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 48, p. 486-488, 1989.

MÄDER, P.; EDENHOFER, S.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; NIGGLI, V. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. **Biology and Fertility of Soils** v.31, p. 150-156, 2000.

MAFONGOYA, P. L.; BARAK, P.; REED, J. D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. **Biology and Fertility of Soils**, v.30, p.298-305, 2000

MAIA, L.C.; TRUFEM, S.B.F. Fungos micorrízicos arbusculares em solos cultivados no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.23, p. 89-95, 1990.

MAIA, L.C.; YANO-MELO, A.M.; GOTO, B.T. Filo Glomeromycota. In. PORTO, K.C.; CORTEZ, A.; TABARELLI, M. (eds.). **Diversidade biológica e conservação da floresta atlântica ao Norte do Rio São Francisco**. Ministério do Meio Ambiente, MMA: Brasília, p. 109-126. 2006

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubadas com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p.669-677, 2007.

MARTIN, T.; SAMPEDRO, I.; GARCIA-ROMERA, I.; GARCÍA-GARRIDO, J.M.; OCAMPO, J.A. Arbuscular mycorrhizal colonization and growth of soybean (*Glycine max*) and lettuce (*Lactuca sativa*) and phytotoxic effect of olive mill residues. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p. 1769-1775, 2002.

MENEZES, R.S.C. **Ciclos biogeoquímicos e sustentabilidade em sistemas de agricultura familiar no semi-árido nordestino**. Projeto de pesquisa e plano de atividade docente. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). 17p. 2002.

MENEZES, R.S.C; SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.361-367, 2007.

MIRANDA, E. M.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para o amendoim forrageiro consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p. 1185-1191, 2008.

MOHAMMAD, M.J.; HAMAD, S.R.; MALKAWI, H.I. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. **Journal of Arid Environments**, v. 53, p. 409-417, 2003.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; WHEELER, W.W. Germplasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation, and storage. **Mycotaxon**, v.48, p. 491-528, 1993.

MUTHUKUMAR, T.; UDAIYAN, K. Growth and yield of cowpea as influenced by changes in arbuscular mycorrhiza in response to organic manuring. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 188, p. 123-132, 2002.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MADER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied Environmental Microbiology**, v. 69, p. 2816-2824, 2003.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; MÄDER, P.; DUBOIS, D.; INEICHEN, K.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia**, v. 138, p. 574-583, 2004.

PALENZUELA, J.; AZCÓN-AGUIAR, C.; FIGUEROA, D.; CARAVANA, F.; ROLDÁN, A.; BAREA, J.M. Effects of mycorrhizal inoculation of shrubs from Mediterranean ecosystems and composed residue application on transplant performance and mycorrhizal developments in a desertified soil. **Biology and Fertility os Soils**, v.36, p.170-175, 2002.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S.L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 1831-1839, 2006.

RYAN, M.H., CHILVERS, G.A., DUMARESQ, D.C. Colonization of wheat by VA-mycorrhizal fungi was found to be higher on a farm managed in an organic manner than on a conventional neighbour. **Plant and Soil**, v. 160, p. 33-40, 1994

SAMPAIO, E.V.S.B. Overview of the brazilian caatinga. In: BULLOCK, S.H.; HAROLD, A.M. & MEDINA, E. (eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge: University Press, Cambridge, p.35-63. 1995.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed. Gainesville: University of Florida, 1988. 241p.

SILVA, F.S.B. **Fase assimiótica, produção, infectividade e efetividade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em substratos com adubos orgânicos**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: PE, 2006, 296 p.

SILVA, G.A.; TRUFEM, S.F.B.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; MAIA, L. C. Arbuscular mycorrhizal fungi in a semiarid copper mining area in Brazil. **Mycorrhiza**, v. 15, p. 47-53, 2005.

SILVA, T.O.; MENEZES, R.S.C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II - Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 51-61, 2007.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia de solo: Fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS; Lavras: ESAL/FAEPE, 1988, 235p.

SOUZA, R.G. **Aspectos ecológicos e introdução de mudas micorrizadas para revegetação de áreas de dunas mineradas, no litoral da Paraíba**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: PE, 2008. 140 p.

STAHL, P.D.; CHRISTENSEN, M. Population variation in the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*: breadth of environmental tolerance. **Mycological Research**, v.95, p.300-307, 1991.

STÜRMER, S.L.; BELLEI, M.M. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, v.72, p. 339-363, 1994.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E. CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, v.371, p. 783-785, 1994.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A.A. A survey of soils for aggregate stability and glomalina, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

WEST, S.B.; CAESAR-TON THAT, T.C.; WRIGHT, S.F.; WILLIAMS, J.D. Organic matter addition, N, and residue burning effects on infiltration biological and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. **Soil and Tillage Research**, v.84, p. 154-167, 2005.

ZAMBOLIM, L.; REIS, M.A.; COSTA, L.M. Substratos para multiplicação do fungo micorrízico vesículo-arbuscular *Glomus etunicatum*. **Fitopatologia Brasileira**, v.17, p.28-31, 1992.

CAPÍTULO 2

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DE CAATINGA

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM DIFERENTES ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DE CAATINGA

RESUMO: A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro e atualmente apresenta áreas com acentuado processo de desertificação, onde são observadas perdas de biodiversidade, acelerado processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) atuam na sucessão vegetal ao favorecer o estabelecimento das espécies vegetais próprias das etapas sucessionais, acelerando a recuperação para uma cobertura vegetal clímax. O presente estudo teve como objetivo avaliar a diversidade e atividade de FMA em diferentes estádios sucessionais de caatinga no semi-árido paraibano. O estudo foi conduzido em blocos casualizados, onde parcelas experimentais de 30 x 60 m foram demarcadas em áreas correspondentes aos estádios sucessionais de caatinga: inicial (revegetação natural nos últimos 8 a 10 anos), intermediário (revegetação natural nos últimos 20 a 25 anos) e tardio (caatinga madura com mais de 50 anos) e também em uma área de pasto, com três repetições. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-15 cm de profundidade, durante duas épocas (seca e chuvosa) em 2007, para quantificação os teores de proteínas do solo relacionadas à glomalina (frações facilmente extraível e total), determinação da densidade e viabilidade de esporos de FMA e do potencial de infectividade do solo e identificação das espécies de FMA. Em raízes finas (<2mm) coletadas nas parcelas experimentais, foi determinada a percentagem de colonização micorrízica. Os FMA demonstraram ser importantes no estabelecimento das espécies vegetais, entretanto, as áreas apresentaram baixo potencial de infectividade, sugerindo a introdução de mudas micorrizadas como uma alternativa viável para acelerar o processo de revegetação. Com exceção das áreas em estágio tardio, os reservatórios de glomalina aumentaram durante o avanço do processo de sucessão. Áreas em estágio tardio de sucessão apresentaram maior riqueza de espécies de FMA, indicando que o estabelecimento da vegetação, também exerce efeito significativo sobre a comunidade fúngica.

Palavras chave: infectividade do solo, revegetação, associação micorrízica.

ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN DIFFERENT SUCCESSIONAL STAGES OF THE CAATINGA

ABSTRACT: The caatinga is a uniquely Brazilian biome and currently has areas with a severe desertification process, where loss of biodiversity, accelerated erosion and declining soil fertility and water quality are observed. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) act in plant succession by favoring the establishment of plant species typical for successional stages, accelerating the recovery to climax vegetation. This study aimed to assess the diversity and activity of AMF in different successional stages of caatinga in the semi-arid climate of Paraíba. The study was conducted in randomized blocks, where experimental plots of 30 x 60 m were marked in areas corresponding to the successional stages of caatinga: initial (natural revegetation in the last 8 to 10 years), intermediate (natural revegetation in the last 20 to 25 years), and late (mature caatinga over 50 years) as well as in an area of pasture, with three replications. Soil samples were collected in the layer of 0-15 cm depth during two seasons (dry and rain) in 2007. In the soil samples, levels of soil proteins related to glomalin, easily extractable fractions and total, were quantified, density and viability of AMF spores and the potential of infectivity of the soil were determined, and the identification of AMF species was carried out. In fine roots (< 2 mm) collected in the experimental plots, the percentage of mycorrhizal colonization was determined. The AMF were important in the establishment of plant species, however, the areas had low degree of infectivity, suggesting the introduction of mycorrhizal plants as a viable alternative to accelerate the revegetation process. With the exception of the areas in late stage, the shells of glomalin increased during the progress of the succession. Areas in late stage of succession had higher species richness of AMF, indicating that the establishment of vegetation also exerts a significant effect on the fungal community.

Keywords: mycorrhiza, revegetation, caatinga.

INTRODUÇÃO

Alterações na caatinga tiveram início com o processo de colonização do Brasil, inicialmente como consequência da pecuária bovina, associada às práticas agrícolas rudimentares. Ao longo do tempo, outras formas de uso da terra foram sendo adotadas, como a diversificação da agricultura e da pecuária, aumento da extração de lenha para produção de carvão e caça, dentre outras (Zanetti, 1994).

Devido ao caráter sistemático dessas atividades, associado ao recrudescimento nas últimas décadas, o bioma caatinga tem sido destruído ou seriamente descaracterizado, encontrando-se hoje em acentuado processo de desertificação, que resulta em perdas da biodiversidade, aceleração do processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água pela sedimentação (Drumond et al., 2000).

A recuperação dessas áreas ocorre mediante um processo de sucessão vegetal, que tem constituído a base científica para programas de recuperação de áreas degradadas (Kageyama et al., 1994). Os estádios da sucessão secundária na caatinga podem variar de acordo com as características e condições dos diferentes sítios ecológicos. A sequência, em geral, é semelhante, mudando, no entanto, os indicadores vegetais, a direção e a velocidade. O modelo, em linhas gerais, desenvolve-se ao longo da sequência: estágio herbáceo com duração de 1 a 3 anos; estágio arbustivo, com duração de 10 a 15 anos; estágio arbustivo-arbóreo com duração de 20 a 25 anos e estágio arbóreo- arbustivo após os 40 anos (Araújo Filho & Carvalho , 1997).

Para Saggin Júnior (1997), o sucesso nos reflorestamentos com espécies nativas depende da capacidade destas em se estabelecerem sob os estresses impostos pelo ambiente, de modo que a mata formada seja capaz de aumentar a matéria orgânica e a atividade biológica do solo, promover a ciclagem de nutrientes e iniciar o processo de sucessão. Outro problema é que a maior parte das áreas destinadas à revegetação é constituída de solos com baixa fertilidade e baixo potencial de inóculo de microrganismos benéficos para as plantas (Janos, 1996).

Recentemente, tem-se destacado o papel dos microrganismos no processo de sucessão vegetal, e entre estes estão os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). FMA podem auxiliar plantas a se estabelecerem em condições áridas, por aumentar a absorção de nutrientes, particularmente P (Toro et al., 1997), melhorando a agregação de solos erodidos (Caravaca et al., 2002), e reduzindo o estresse hídrico (Auge, 2001). FMA são componentes essenciais nos ecossistemas tanto para a revegetação de áreas degradadas e manutenção da estrutura do solo reduzindo riscos de desertificação (Caravaca et al., 2005).

Plantas micorrizadas apresentam maiores chances de se estabelecer em solos com baixa fertilidade que as não micorrizadas, demonstram alta capacidade competitiva, facilitam a revegetação em áreas com reduzido potencial de inóculo e são de grande importância para os programas de reabilitação de áreas degradadas (Janos, 1996). Além dos efeitos no crescimento inicial (Schultz et al., 1981), a colonização micorrízica afeta as futuras fases

sucessionais das espécies (Herrera et al., 1991) e a estruturação das comunidades vegetais (Miller & Jastrow, 1992).

O conhecimento da capacidade das espécies vegetais em formar simbiose com esses fungos é de fundamental importância para o sucesso da revegetação (Jasper et al., 1991) e o estabelecimento de espécies altamente micotróficas pode produzir, ao longo do tempo, diversas melhorias no ambiente a ser revegetado. Essas melhorias, nas fases iniciais da sucessão, podem deixar o solo mais adequado para o posterior estabelecimento de plântulas das fases mais tardias da sucessão (Zangaro et al., 2000). O objetivo deste estudo foi avaliar a diversidade e atividade de fungos micorrízicos arbusculares em diferentes estádios sucessionais de caatinga no semi-árido paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas de estudo

O estudo foi conduzido na Fazenda Tamanduá, no município de Patos, semi-árido paraibano, que está localizado entre 06°59'13" e 07°0'14" de latitude Sul e 37°18'08" e 37°20'38" de longitude W, com altitude média de 270 m. O clima da região é do tipo Bsh (semi-árido) na classificação de Köppen, com temperatura média anual de 32,8 °C e precipitação em torno de 600 mm anuais. Foram registradas as precipitações pluviométricas mensais no município, em 2007, ano de condução do experimento (Figura 1).

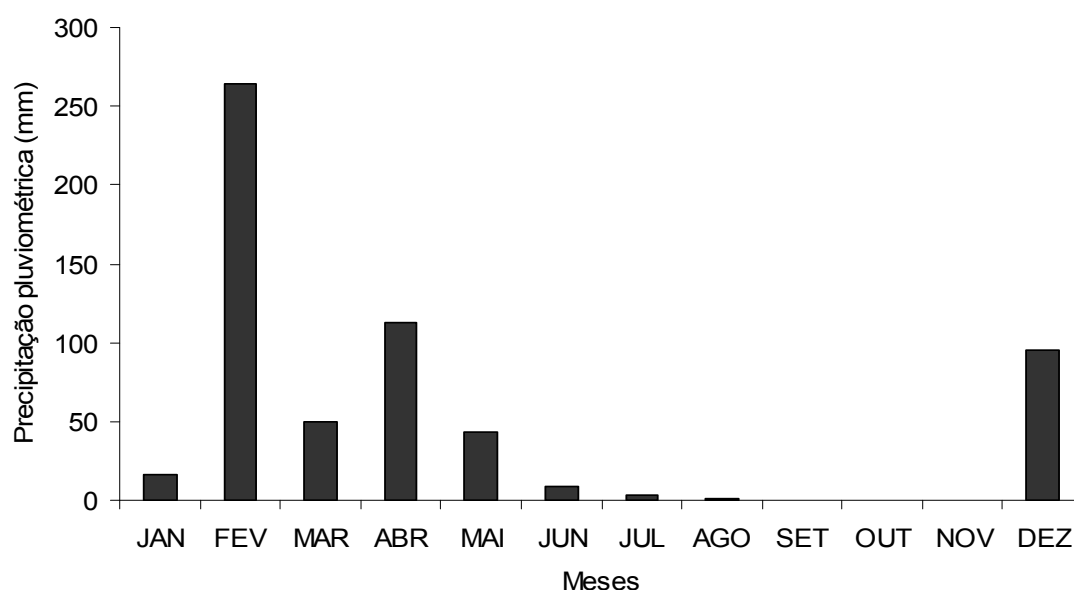


Figura 1. Precipitação mensal registrada em 2007, em Patos, PB (AESA, 2008).

Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, sendo delimitadas parcelas experimentais de 30 x 60m, com áreas úteis de 20 x 50 m, em áreas correspondentes a diferentes estádios sucessionais de caatinga, com três repetições. Os estádios sucessionais foram: 1) pasto (P) - áreas de caatinga desmatadas nas quais estava plantado capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) sendo usadas como pasto para o gado, atualmente protegidas com cerca, apresentando predominância de vegetação herbácea; 2) estágio inicial (EI) - áreas também plantadas com capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) usadas originalmente como pasto para o gado, que atualmente estão protegidas com cercas e em regeneração natural nos últimos 8 a 10 anos. Estas áreas contêm vegetação composta de arbustos e herbáceas; 3) estágio intermediário (EIT) - áreas como as anteriores, em regeneração natural nos últimos 20 a 25 anos. Estas áreas contêm vegetação composta de herbáceas, arbustos e árvores; e 4) estágio tardio (ET) – caatinga madura, com mais de 50 anos sem corte raso ou perturbações antrópicas de maior porte.

Nas áreas estudadas foram identificadas 18 espécies vegetais, pertencentes a 17 gêneros, distribuídos em 11 famílias. Destas, 16 espécies foram registradas em áreas no estágio tardio de sucessão, 14 espécies no estágio intermediário de sucessão e 5 espécies foram registradas em áreas no estágio inicial de sucessão (Tabela 1). Áreas de pasto apresentavam plantio de capim buffel.

Tabela 1. Espécies arbóreas com indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) > 3 cm nos estádios sucessionais de caatinga, em Patos, PB.

Família/Espécie	Nome vulgar	Áreas¹			
		P	EI	EIT	ET
Apocynaceae					
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	-	-	X	-
Bombacaceae					
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil., Juss.&Cambess.) A. Robyns	Embiratanha	-	-	-	X
Burseraceae					
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Imburana	-	-	-	X
Bignoniaceae					
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl.	Pau d´arco	-	-	X	X
Cactaceae					
<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru	-	X	X	X
Capparaceae					
<i>Capparis cynophallophora</i> L.	Feijão bravo	-	-	X	X
Combretaceae					
<i>Cobretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo	-	-	X	X
Euphorbiaceae					
<i>Croton sonderianus</i> Muell. Arg.	Marmeleiro	-	X	X	X
<i>Jathopha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	-	-	X	X
<i>Jatropha phyllachanta</i> Müll. Arg.	Faveleira	-	-	-	X
Legumonosae					
<i>Adenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altshul	Angico	-	-	X	X
<i>Amburana cearensis</i> (Allem.) A.C.Smith	Cumarú	-	-	-	X
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Catingueira	-	X	X	X
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema preta	-	X	X	X
<i>Pauletia cheilantha</i> Bong.	Mororó	-	-	X	X
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	-	-	X	X
Olacaceae					
<i>Ximenia americana</i> L.	Ameixa	-	-	X	X
Poaceae					
<i>Cenchrus ciliaris</i> L.	Capim buffel	X	X	X	-
Total de espécies		-	5	14	16

¹ (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário e (EA) = Estádio tardio.

(-) = Ausente e (X) = Presente

Coleta das amostras

As coletas de solo e raízes foram realizadas durante duas épocas caracterizadas como estação chuvosa (maio) e seca (novembro), em 2007. Foram coletadas 10 amostras simples de solo em cada parcela, na camada 0-15 cm de profundidade. As amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em peneira de 2 mm. O solo após peneirado, foi misturado, e dele retiradas duas amostras compostas. Raízes finas (<2 mm) foram coletadas nas parcelas experimentais, lavadas em água e acondicionadas em recipientes plásticos, contendo álcool a 50%, para conservação até as análises.

Caracterização química e física do solo

A caracterização química e física do solo (Tabela 2) foi realizada de acordo com metodologias propostas pela Embrapa (1999), seguindo os procedimentos: pH em H₂O (solo: 2,5 água, v/v); Ca⁺² e Mg⁺² (extraídos com KCl e determinados por absorção atômica); P, K⁺ e Na (extraídos com Mehlich I e determinados K⁺ e Na por fotometria de chama e o P por colorimetria); C orgânico (determinado por oxidação úmida em dicromato de potássio); e granulometria pelo método do densímetro.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo em cada área correspondente aos estádios sucessionais de caatinga durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.

Áreas ¹	pH	P	K	Na	Ca	Mg	C.O.	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	H ₂ O	mg kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹		g kg ⁻¹	areia	argila	silte
Período chuvoso										
P	5,61	2,72	0,25	0,12	4,31	1,37	8,37	638	269	93
EI	5,94	1,55	0,29	0,11	5,02	1,66	8,61	645	239	117
EIT	5,79	1,65	0,31	0,13	3,91	1,29	14,10	668	239	93
ET	6,50	2,62	0,29	0,11	5,22	1,36	11,62	648	229	123
Período seco										
P	6,08	4,21	0,23	0,11	3,91	1,17	13,63	638	269	93
EI	5,64	2,11	0,32	0,09	3,97	1,36	13,23	645	239	117
EIT	5,64	2,23	0,31	0,11	3,98	1,42	12,87	668	239	93
ET	6,68	2,43	0,27	0,09	5,44	1,48	12,62	648	229	123

¹ (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário e (EA) = Estádio tardio.

Densidade e viabilidade de esporos, identificação das espécies de FMA e índices ecológicos

Os esporos de FMA foram extraídos de 50 g das amostras de solo pela técnica de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguido por centrifugação em água e solução de sacarose 45% (Jenkins, 1964). Neste procedimento, o solo foi transferido para um recipiente contendo 1000 ml de água, homogeneizado e em seguida o sobrenadante vertido sobre três peneiras sobrepostas de 50µm, 100µm e 250µm. O material retido nas peneiras foi recolhido em um tubo de ensaio e submetido à centrifugação em água (3000 g), por 3 minutos, e em solução de sacarose 45% (2000 g), por 1 minuto. O sobrenadante foi vertido na peneira de 50µm e os esporos transferidos para placa canaletada.

Aos esporos extraídos do solo foram adicionados 5 ml de cloreto de iodonitrotetrazólio (INT) a 0,1%, e em seguida incubados por 5 dias em temperatura ambiente, para avaliação da viabilidade, conforme metodologia proposta por Walley & Germida, (1995). Após esse período, foi realizada a contagem dos esporos em placas canaletadas com auxílio de microscópio estereoscópico (40x). Os esporos foram considerados viáveis quando reagiram

com INT, adquirindo coloração vermelha e não viáveis, quando não reagiram com INT, mantendo a coloração original.

Para identificação das espécies de FMA, foram montadas culturas armadilhas, nas quais amostras de solo das áreas foram diluídas em areia autoclavada (1:1) e transferidas para vasos plásticos com capacidade para 500 mL, utilizando painço (*Panicum miliaceum* L.) como planta hospedeira. Após três ciclos de multiplicação, os esporos foram extraídos do solo, agrupados de acordo com as características morfológicas (cor, tamanho, forma) e montados em lâminas com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) e com Melzer + PVLG (1:1; v:v) (Morton et al., 1993). Para subsidiar a identificação, foi utilizada literatura especializada (Schenck & Perez 1988; Carrenho, 1998; INVAN, 2009; Blaszkowski, 2009).

A riqueza de espécies foi determinada de acordo com o número de espécies de FMA que ocorreu na área. Para medir a similaridade de espécies entre as áreas foi utilizado o coeficiente de Sorensen (Brower & Zar, 1984), segundo a equação: $S = [2c / (a + b)] * 100$, onde: c = número de espécies comuns às duas áreas (1 e 2); a = número de espécies na área 1; e b = número de espécies na área 2. A frequência de ocorrência das espécies foi estimada segundo a equação: $Fi = Ji/k * 100$ onde, Ji = número de amostras nas quais a espécie ocorreu; k = número total de amostras de solo.

Infectividade do solo

A infectividade do solo nas áreas foi avaliada de acordo com a técnica do número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA, descrita por Feldmann & Idczak (1992). Foi montado um bioensaio para cada área (pasto, estádio inicial, estádio intermediário e estádio tardio) e período de coleta (chuvoso e seco). Para cada área foi usada uma amostra composta de solo (solo-inóculo), homogeneizado, seco, não esterilizado e peneirado (malha de 0,5 cm de abertura). Como diluente, foi utilizada areia peneirada (malha de 0,5 cm de abertura), lavada, autoclavada por 1 hora a 120 °C por três dias alternados e seca em estufa a 105 °C. As amostras do solo-inóculo foram diluídas em areia nas proporções de 1:0; 1:10; 1:100 e 1:1000, e transferidas para tubetes plásticos com capacidade para 100 g, com cinco repetições. Foi realizado o plantio de duas sementes de milho (*Zea mays* L.) em cada tubete, e, após a germinação ($\pm$ 5 dias), apenas uma plântula foi mantida. As plantas foram coletadas aos 30 dias e todo o sistema radicular preparado para verificação da presença de estruturas de FMA (Koske & Gemma, 1989). Para o cálculo do NMP foram usados três números: o primeiro correspondente ao número de repetições colonizadas na diluição 1:10; o segundo e

terceiro números correspondentes às duas maiores diluições. O resultado da combinação dos três números foi encontrado na Tabela de Cochran (1950). Para obter o NMP de propágulos infectivos por cm^3 de solo, o valor encontrado na tabela foi multiplicado por 100.

Quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina

Foram quantificados os teores das frações facilmente extraível (GFE) e total (GT) de proteínas do solo relacionadas à glomalina, pelo método de Wright & Upadhyaya (1998). A fração GFE foi obtida de 0,25 g de solo autoclavados com 2 mL de citrato de sódio (20mM; pH 7,0) por 30 minutos a 121 °C, e em seguida realizada centrifugação a 10000 g, durante 5 min. A extração da GT foi realizada através da adição de 2 mL de citrato de sódio (50 mM; pH 8,0) ao sedimento resultante da extração da GFE, seguida de autoclavagem (121 °C/1 hora), por quatro vezes, até o sobrenadante não apresentar coloração marrom-avermelhada, característica da glomalina. O sobrenadante resultante do ciclo de extração da GT foi centrifugado (10000g/5 minutos). Conforme método de Bradford (1976), alíquota de 50 μL do sobrenadante obtido, juntamente com 2,5 mL do reagente azul de comassie brilhante G-250 foram utilizados para quantificação dos teores de GFE e GT. Albumina bovina sérica foi utilizada como padrão. O carbono da glomalina (C-G) foi estimado a partir da glomalina total, considerando-se que o carbono representa 43,1% da molécula (Rillig et al., 2003) e expresso em mg g solo^{-1} . O percentual de contribuição da glomalina para o carbono total do solo foi calculado com base relação carbono da glomalina (C-G)/carbono total do solo (C-S).

Colonização micorrízica

A percentagem de colonização micorrízica foi determinada utilizando-se o método de intersecção dos quadrantes da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980), após o processamento das raízes que consistiu da clarificação com KOH (10%) por 24 horas, em temperatura ambiente, seguida do tratamento com H_2O_2 alcalina, por 45 minutos, e com HCl (1%) por 3 minutos, e coloração com azul de Trypan (0,05%) (Koske & Gemma, 1989). Foram separados 100 segmentos de raízes coloridas para visualização de estruturas fúngicas (arbúsculos, vesículas e hifas), com auxílio de um microscópio estereoscópico (40x).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Os dados referentes à densidade de esporos e percentagem de colonização micorrízica foram transformados, respectivamente, em $(x + 0,5)^{1/2}$ e $\arcsin \sqrt{x/100}$ (Banzatto & Kronka 1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, as áreas apresentaram baixa densidade total de esporos, variando de 198 a 275 esporos em 50 g de solo (4 a 5 esporos g de solo⁻¹) no período chuvoso e de 145 a 210 esporos em 50 g de solo (3 a 4 esporos g de solo⁻¹) no período seco (Tabela 3). Baixa densidade de esporos de FMA foi também observada em estudos realizados em algumas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro (Souza et al., 2003; Albuquerque, 2008) e do mundo (Requena et al., 1996; Mohammad et al., 2003; Shi et al., 2007), e segundo Bashan et al. (2000), pode ser atribuída à presença de espécies com baixa capacidade de esporulação nestes ambientes.

Durante o período chuvoso, as áreas de pasto e em estágio intermediário de sucessão apresentaram maior densidade de esporos viáveis (46 e 39 esporos em 50g de solo, respectivamente) e não viáveis (228 e 201 esporos em 50 g de solo, respectivamente), não diferindo estatisticamente entre si. Não foi observada diferença significativa entre as áreas quanto à densidade de esporos viáveis, durante o período seco. Neste período, as áreas de pasto apresentaram menor densidade de esporos não viáveis (135 esporos em 50 g de solo) que as demais áreas.

A densidade de esporos de FMA na rizosfera geralmente é bastante variável e está relacionada com a forma agregada como os esporos são encontrados no solo e em função da distribuição, morfologia e idade fisiológica das raízes (Anderson et al., 1983), assim como depende de outros fatores que influenciam a esporulação: pluviometria, temperatura, período de insolação e espécies de FMA (Brundrett et al., 1996).

Houve redução da densidade de esporos viáveis em todas as áreas (até 78%), durante o período seco em relação ao período chuvoso. É possível que estes resultados estejam relacionados ao aumento da temperatura do solo durante este período, fator que não favorece a manutenção de esporos viáveis no solo (Bendavid-Val et al., 1997). Além disso, segundo

Lima et al. (2007), embora o INT tenha apresentado resultados consistentes nos bioensaios realizados, fatores como tamanho, permeabilidade da parede, atividade metabólica e grau de maturidade dos esporos podem afetar os resultados do teste. O INT atua como um indicador, que quando absorvido pelos esporos, interage com os processos de redução das células vivas e recebe íons das desidrogenases. Através da hidrogenação do INT, uma substância vermelha, estável e não difusível o formazan é produzida nas células vivas. Isto torna possível distinguir os esporos viáveis (vivos) coloridos de vermelho dos não viáveis (que não colorem). Com exceção das áreas de pasto, a densidade total e de esporos não viáveis não diferiu significativamente nas áreas entre os períodos de coleta.

Tabela 3. Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR) e número mais provável (NMP) de propágulos infectivos nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.

Áreas ¹	DE (50 g de solo)			CR (%)	NMP (propágulos infectivos cm ⁻³ solo)
	Viáveis	Não viáveis	Total		
Período chuvoso					
P	46aA	228aA	275aA	30,4 bB	52
EI	23bA	183bA	205bA	38,2aB	180
EIT	39aA	201aA	240aA	28,8bB	140
ET	28bA	170bA	198bA	27,9bB	95
CV(%)	11,80	10,06	9,57	17,95	-
Período seco					
P	10aB	135bB	145bB	37,5bA	95
EI	10aB	178aA	188aA	44,5aA	40
EIT	9aB	193aA	202aA	36,3bA	44
ET	7aB	203aA	210aA	36,7bA	20
CV(%)	11,80	10,06	9,57	17,95	-

¹ (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário; (ET) = Estádio tardio.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam as áreas entre si em cada período de coleta e letras maiúsculas comparam cada área entre os dois períodos de coleta.

O percentual de colonização micorrízica das espécies vegetais variou de 28 a 38% no período chuvoso e de 36 a 44% no período seco, concordando com valores observados em outras áreas de caatinga (Silva et al., 2001; Souza et al., 2003; Mergulhão et al., 2007; Albuquerque, 2008). Espécies vegetais presentes nas áreas em estágio inicial de sucessão apresentaram maior percentual de colonização micorrízica, em ambos os períodos de coleta (chuvoso 38% e seco 44%). Estudos também demonstraram que a dependência e a responsividade à associação micorrízica foi maior nas espécies arbóreas em estágios iniciais de sucessão e diminuíram nas clímaxes (Siqueira et al., 1998; Zangaro et al., 2000; Zangaro et al., 2002; Zangaro et al., 2003; Aidar et al., 2004; Zangaro et al., 2007).

A rápida taxa de crescimento e a grande demanda pelos minerais, comum entre as espécies arbóreas pioneiras e secundárias iniciais, além da pouca reserva de nutrientes em suas sementes, podem levar estas espécies a apresentar deficiência de P na parte aérea, o que aumenta a colonização pelos FMA (Zangaro et al., 2000). Entre as espécies secundárias tardias e clímaxes, a baixa taxa de crescimento, a menor demanda pelos minerais e a grande reserva de nutrientes das sementes, podem ser algumas razões pelas quais estas espécies apresentam baixa colonização micorrízica (Zangaro et al., 2002).

Durante o período seco, em todas as áreas, houve aumento na colonização micorrízica das espécies vegetais chegando a 31% em relação ao período chuvoso, que possivelmente pode representar uma estratégia dos FMA para evitar as condições de estresse hídrico. Colonização radicular e esporulação são estratégias cruciais para sobrevivência dos FMA em condições adversas (Hart & Reader, 2002).

No período chuvoso, as áreas em estágio inicial de sucessão apresentaram maior número de propágulos infectivos que as demais (180 propágulos cm^{-3} de solo). Contudo, durante o período seco, maior número de propágulos infectivos foi registrado na área de pasto (95 propágulos cm^{-3} de solo). Com exceção das áreas de pasto, houve redução do número de propágulos infectivos durante o período seco.

De modo geral foi observado baixo número de propágulos infectivos de FMA nas áreas, variando de 29 a 100 propágulos infectivos cm^{-3} de solo no período chuvoso e 11 a 53 propágulos infectivos cm^{-3} de solo no período seco, conforme também observado por Caravaca et al. (2005) em regiões semi-áridas do mediterrâneo.

A introdução de mudas micorrizadas pode ser uma alternativa para acelerar o processo de revegetação, uma vez que o potencial de infectividade por FMA foi baixo nas áreas em ambos períodos de coleta. Segundo Dias et al. (1995), leguminosas (nativas ou não) noduladas e micorrizadas são recomendadas para os processos iniciais de recuperação das

áreas, pois essas plantas têm excelente capacidade de adaptação e produzem grande quantidade de biomassa.

Tabela 4. Quantificação do teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina: frações facilmente extraível (GFE) e total (GT), carbono da glomalina (C-G) e relação carbono da glomalina (C-G)/carbono do solo (C-S) nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos seco e chuvoso, em Patos, PB.

Áreas ¹	GFE	GT	C-G	C-G/C-S
	(mg g solo ⁻¹)			(%)
Período chuvoso				
P	1,21bA	2,18bA	0,94bA	11,38aA
EI	1,35bA	2,78aA	1,20aA	15,54aA
EIT	1,66aA	2,91aA	1,25aA	13,04aA
ET	1,17bA	2,25bA	0,97bA	8,41aA
CV(%)	19,35	27,34	27,31	31,11
Período seco				
P	1,34bA	2,58aA	1,11aA	8,21aA
EI	1,49aA	2,78aA	1,20aA	9,13aB
EIT	1,62aA	2,97aA	1,28aA	9,62aA
ET	1,25bA	2,07aA	0,89aA	6,75aA
CV(%)	19,35	27,34	27,31	31,11

¹ (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário; (ET) = Estádio tardio.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam as áreas entre si em cada período de coleta e letras maiúsculas comparam cada área entre os dois períodos de coleta.

O teor de GFE nas áreas variou entre 1,17 a 1,66 mg g solo⁻¹ no período chuvoso e de 1,25 a 1,62 mg g de solo⁻¹ no período seco (Tabela 4). Estes valores estão abaixo dos encontrados em áreas de caatinga nativa por Albuquerque (2008) que verificaram teores de GFE, variando de 3,18 a 5,90 mg g de solo⁻¹. Bird et al. (2002) observaram em regiões semi-áridas da América do Norte, concentrações comparativamente baixas, não excedendo 0,6 mg g solo⁻¹. Embora os mecanismos que regulam a produção de glomalina ainda não estejam bem compreendidos (Purin & Rillig, 2007), acredita-se que características do solo, condições climáticas, presença e tipo de vegetação, espécie fúngica, dentre outros fatores, podem

influenciar nas concentrações de glomalina presente nos solos (Wright et al., 1996; Rillig et al., 2001; Wright & Anderson, 2002).

Com exceção da área em estágio tardio de sucessão, os teores de GFE, GT e C-G aumentaram com o processo de sucessão da vegetação, em ambos os períodos de coleta. Em área de restinga, Souza (2008) também verificou que a concentração de GFE aumentou durante o processo de revegetação, sendo registrados 6,50 mg g solo⁻¹ em área sem vegetação; 7,66 mg g solo⁻¹ em área revegetada há 16 anos e 11,34 mg g solo⁻¹ em mata de restinga. Espécies vegetais em estádios iniciais de sucessão apresentam grande demanda por nutrientes, resultando em maior capacidade fotossintética (Lusk et al., 2008), desta maneira aumentando a quantidade de fotossintatos transferidos para os FMA (Linch & Ho, 2005), o que possivelmente favoreceu a produção de glomalina.

Independentemente da área, os teores de GFE, GT e C-G não diferiram significativamente entre os períodos de coleta. A glomalina é uma biomolécula relativamente estável nos solos (Wright & Upadhyaya, 1998), que não apresenta grandes variações sazonais (Lutgen et al., 2003). A relação C-G/C-S não diferiu significativamente entre as áreas, em ambos os períodos de coleta. Somente as áreas em estágio inicial de sucessão apresentaram diferença significativa na relação C-G/C-S, entre os períodos de coleta.

Foram registradas 16 espécies, distribuídas nos gêneros *Glomus* (6), *Acaulospora* (5), *Ambispora* (1), *Scutellospora* (1), *Racocetra* (1), *Entrophospora* (1) e *Gigaspora* (1) (Tabela 5). De modo geral, as áreas em estágio tardio de sucessão apresentaram maior riqueza de espécies de FMA (10 espécies), que as áreas em estágio inicial (8 espécies), intermediário (8 espécies) e de pasto (8 espécies). Maior riqueza em espécies nas áreas em estágio tardio de sucessão é comumente relatada na literatura, uma vez que a ausência de interferências antropogênicas (Kernaghan, 2005) e a maior diversidade de plantas (Johnson et al., 2003) favorecem a diversidade de FMA.

Tabela 5. Espécies de FMA nas áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, durante os períodos chuvoso e seco, em Patos, PB.

Espécie de FMA	Áreas ¹									
	P		EI		EIT		ET		FR*(%)	
	Período ²									
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
<i>Acaulospora excavata</i>					X		X		50	-
<i>Acaulospora foveoreticulata</i>	X		X		X		X		100	-
<i>Acaulospora longula</i>	X		X	X				X	50	50
<i>Acaulospora mellea</i>					X	X		X	25	50
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	X	X	X		X			X	75	50
<i>Ambispora appendicula</i>								X	-	25
<i>Entrophospora infrequens</i>							X		25	-
<i>Glomus ambisporum</i>					X				25	-
<i>Glomus claroideum</i>		X		X		X			-	75
<i>Glomus etunicatum</i>		X	X	X	X	X		X	50	100
<i>Glomus glomerulatum-like</i>		X							-	25
<i>Glomus intraradices</i>	X								25	-
<i>Glomus macrocarpum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	100	100
<i>Gigaspora margarita</i>								X	-	25
<i>Racocetra fulgida</i>				X					-	25
<i>Scutellospora aurigloba</i>			X						25	-
Riqueza de espécies	5	5	6	5	7	4	4	7	-	-

Áreas¹: (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário e (ET) = Estádio tardio.

Período²: C = Chuvoso; S = Seco

*FR = Frequência relativa

A diversidade de FMA em regiões áridas pode ser limitada, mesmo quando se utiliza cultura armadilha para melhor detectar a riqueza de espécies (Stutz et al., 2000). É possível que a riqueza de FMA seja maior que a encontrada, considerando-se que a multiplicação de esporos em potes de cultura, embora ajude a recuperar alguns fungos, não possibilita a recuperação de todos os esporos presentes no solo, pois a taxa de esporulação depende, além de outros fatores, da planta hospedeira (Bever et al., 1996). Além do mais, a produção apenas eventual de esporos por alguns FMA e a presença de esporos inviáveis dificultam a identificação e melhor descrição das espécies encontradas (Souza et al., 2003).

Glomus intraradices e *G. glomerulatum*-like foram exclusivas da área de pasto, assim como *R. fulgida* e *S. aurigloba* foram registradas somente na área em estágio inicial de sucessão. Somente na área em estágio intermediário de sucessão foi observada *G. ambisporum*, enquanto que *Acaulospora appendicula*, *E. infrequens* e *G. margarita* foram encontradas apenas na área em estágio tardio de sucessão vegetal. Diferentes espécies de plantas hospedeiras criam habitats próprios ao redor de suas raízes, levando ao estabelecimento de espécies distintas de FMA (Carrenho et al., 2001).

Glomus macrocarpum foi encontrado em todas as áreas, em ambos os períodos de coleta. Aidar et al. (2004) também verificaram a ocorrência de *G. macrocarpum* em todos os estádios sucessionais em uma floresta atlântica no sudoeste de São Paulo. *Glomus macrocarpum* tem sido relatada em ambientes áridos e semi-áridos e, similarmente às outras espécies do gênero, parece apresentar elevada adaptação à multiplicidade de condições ambientais (Stutz et al., 2000; Bouamri et al., 2006; Shi et al., 2007). Além disso, segundo Caproni et al. (2003), essa espécie apresentou infectividade muito rápida, altas concentrações de propágulos, e maior número de esporos, independentemente das condições de solo.

Entrophospora infrequens, *G. ambisporum*, *G. intraradices*, *S. aurigloba*, *A. excavata* e *A. foveorticulata* foram registradas somente no período chuvoso. Durante o período seco, observou-se o aparecimento de *A. appendicula*, *G. claroideum*, *G. glomerulatum*-like, *G. margarita* e *R. fulgida*, possivelmente devido a mecanismos de dispersão ou ainda seus propágulos não estavam na forma de esporos (Caproni et al., 2003) na coleta realizada durante o período chuvoso. Algumas espécies, como *A. longula*, *A. mellea*, *A. scrobiculata*, *G. etunicatum* e *G. macrocarpum*, foram observadas em ambos os períodos de coleta.

Espécies de *Glomus* e *Acaulospora* foram encontrados em todas as áreas e nas duas épocas, estando sempre em maior número que as dos demais gêneros. Levantamentos realizados em regiões semi-áridas tem demonstrado que esses gêneros são dominantes em relação aos demais (Tao & Zhiwei, 2005; Gai et al., 2006; Li et al., 2007; Shi et al., 2007; Albuquerque, 2008). Embora estes gêneros sejam compostos pelo maior número de espécies catalogadas, a dominância de esporos pequenos, como os de *Glomus* e *Acaulospora*, pode ser uma adaptação seletiva ao estresse hídrico (Boddington & Dodd, 2000). Picone (2000) relatou que esporos pequenos como os de *Glomus* e *Acaulospora* são mais frequentes e tem menor variação sazonal que esporos grandes. Para Tao & Zhiwei (2005), espécies de *Glomus* e *Acaulospora* parecem ser mais adaptadas aos ambientes quentes e áridos.

Tabela 6. Índice de similaridade (%) de espécies vegetais e de FMA entre as áreas sob diferentes estádios sucessionais de caatinga, Patos, PB.

Áreas ¹	EI		EIT		ET	
	V	F	V	F	V	F
P	33,3	75	13,3	62,5	-	55,5
EI			52,6	62,5	38,1	55,5
EIT					80	55,5

¹ (P) = Pasto; (EI) = Estádio inicial; (EIT) = Estádio intermediário e (ET) = Estádio tardio.

² V = Vegetal; F = Fungo

O índice de similaridade entre as áreas com relação a espécies de FMA diminuiu, ao passo que o de espécies vegetais aumentou com o avanço do processo de sucessão (Tabela 6). É possível que nos estádios iniciais as espécies de FMA exibiram menor especificidade, possivelmente para favorecer o estabelecimento das espécies vegetais, contudo, ao longo do processo de sucessão, as plantas exercem influência sobre a comunidade fúngica, uma vez que estas apresentam diferente grau compatibilidade fungo-planta.

CONCLUSÕES

1. Os FMA demonstram ser importantes no estabelecimento das espécies vegetais que iniciam o processo de revegetação das áreas;
2. As áreas apresentaram baixo potencial de infectividade, sugerindo a introdução de mudas micorrizadas como uma alternativa viável para acelerar o processo de revegetação;
3. Em ambos os períodos, com exceção das áreas em estágio tardio, os reservatórios de glomalina aumentaram com o avanço do processo de sucessão vegetal;
4. De modo geral, áreas em estágio tardio de sucessão apresentam elevada riqueza de espécies de FMA, indicando que o estabelecimento da vegetação também exerce efeito sobre a comunidade fúngica;
5. Espécies de *Glomus* e *Acaulospora* predominaram nas áreas, em ambos os períodos, possivelmente por serem adaptadas às condições de semi-árido.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi parcialmente financiado com recursos do IAI (CRN2-014); do CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-9); e do Edital Facepe PPP 2006 (Processo APQ-0633-5.01/06). Os autores também agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvasMensais>> Acesso em: 25 nov. 2008.

AIDAR, M.P.M.; CARRENHO, R.; JOLY, C.A. Aspects of arbuscular mycorrhizal fungi in an atlantic forest chronosequence parquet estadual turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. **Biota Neotropica**, v. 4, n.2, p. 1-15, 2004.

ALBUQUERQUE, P.P. **Diversidade de Glomeromycetes e atividade microbiana no solo em áreas de caatinga nativa do estado de Pernambuco, Brasil**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco: Recife-PE 115 p. 2008.

ANDERSON, R.C., LIBERTA, A.E., DICKMAN, L.A.; KATZ, A.J. Spatial variation in vesicular-arbuscular mycorrhiza spore density. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 110, p.519-525, 1983.

ARAÚJO FILHO, J.A.; CARVALHO, F.C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Sobral: Embrapa - Caprinos, 1997, 19p. (Circular Técnica,13).

BANZATTO, D.V.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1992. 247 p.

BASHAN, Y.; DAVIS, E.A.; CARRILLO-GARCIA, A.; LIDERMAN,R.G. Assessment of mycorrhizal inoculum potencial in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. **Applied Soil Ecology**, v.14, p. 165-175, 2000.

BENDAVID-VAL, R.; RABINOWICH, H.D.; KATAN, J.; KAPULNIK, Y. Viability of VA-mycorrhizal fungi following soil solarization and fumigation. **Plant and Soil**, v.195, p.185-193, 1997.

BEVER, J.D.; MORTON, J.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 1, p. 71-82, 1996.

BIRD, S.B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M. M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 445–455, 2002

BLASZKOWSKI, 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/index.html>. Acesso em: 20 set. 2009.

BODDINGTON, C.L.; DODD, J.C. The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. **Plant and Soil**, v. 218, p. 137-144, 2000.

BOUAMRI, R.; DALPÉ, Y.; SERRHINI, M.V.; BENNANI, A. Arbuscular mycorrhizal fungi species associated with rhizosphere of *Phoenix dactylifera* L. in Morocco. **African Journal of Biotechnology**, v.6, p. 510-516, 2006.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms quantites of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analyses Biochemists**, v.72, p. 248-254, 1976.

BROWER, J.E.; ZAR, H. Community similary. In: BROWER, J.E. & ZAR, J.H. (eds.). **Field & Laboratory for General Ecology**. Win C. Brown Publishers. Dubuque, Iowa, p. 161-164, 1984.

BRUNDRETT, M.C., ASHWATH, N.; JASPER, D.A. Mycorrhizas in the Kakadu region of tropical Australia. **Plant and Soil**, v. 184, p.173-184. 1996.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R.L.L. Capacidade infectiva de fungos micorrizicos arbusculares em áreas reflorestadas após mineração de bauxita no Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.38 n.8. p.937-945, 2003.

CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de FMA**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo – SP, 1998, 135p

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos vesiculo-arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botânica Brasílica**, v. 15, n.1, p.115-124, 2001.

COCHRAN, W.G. **Biometrics**, v.6, p. 105-116, 1950.

DRUMOND, M.A.; KIILL, L.H.P.; LIMA, P.C.F.; OLIVEIRA, M.C.; OLIVEIRA, V.R.; ALBUQUERQUE, S.G.; NASCIMENTO, C.E.S.; CAVALCANTE, J. Estratégias para uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: **Workshop de avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga**. Petrolina, PE, 2000. 23 p.

EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / Embrapa Solos**, Embrapa Informática agropecuária; organizador Fábio César da Silva. – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia de Tecnologia, 1999, 370 p.

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. 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 Methods in Microbiology**. Academic Press, London, p. 799-817, 1992.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. IN: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Programa e resumos...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258

GAI, J.P.; FENG, G.; CAI, X.B.; CHRISTIE, P.; LI, X.L. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in southern Tibet. **Mycorrhiza**, v.16, p. 191-196, 2006.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v.46, p.235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, n.3, p.484-500, 1980.

HART, M.H.; READER, R.J. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v.153, p. 335-344, 2002.

HERRERA, R.A.; CAPOTE R.P.; MENENDEZ L.; RODRIGUEZ, M.E. Silvigenesis stages and role of mycorrhiza in natural regeneration in Sierra del Rosario, Cuba. In: GOMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T.C.; HADLEY, M., (eds.). **Rain forest regeneration and management**. Paris: The Parthenon Publishing Group, p. 211-222, 1991.

INVAM . **International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. Disponível em: <http://www.invam.caf.wvu.edu/>. Acesso em: 20 set. 2009.

JANOS, D.P. Mycorrhizas, sucession, and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J.C.; MAGAN, N.; GADD, G.M. (ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, p. 129-162 (British Mycological Society Symposium, 20).

JASPER, D.A.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, in soils from different vegetation types. **New Phytologist**, v. 118, n. 3, p. 471-476, 1991.

JASPER, D.A. Management of mycorrhizas in revegetation. In: ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K.; MALAJCZUK, N. (eds.) **Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture, and forestry**. Boston: Kluwer Academic, p. 211-219, 1994

JENKINS, W.R.A. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692. 1964.

JOHNSON, D.; VANDENKOORNHUYSE, P.J.; LEAKE, J.R.; GILBERT, L.; BOOTH, R.E.; GRIME, J.P.; YOUNG, J.P.W.; READ, D.J. Plant communities affect arbuscular

mycorrhizal fungal diversity and community composition in grassland microcosms. **New Phytologist**, v.161, p.503–515, 2003.

KAGEYAMA, P.; SANTARELLI, E.; GANDARA, F.B.; GONÇALVES, J.C.; SIMIONATO, J.L.; ANTIQUEIRA, L.R.; GERES, W.L. Revegetação de áreas degradadas: modelos de consorciação com alta diversidade. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., e SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais**. Curitiba, FUPEF, 1994, p. 569-576.

KERNAGHAN, G. Mycorrhizal diversity: cause and effect? **Pedobiologia**, v.49, p.511-520, 2005.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect mycorrhizas. **Mycological Research**. v. 48, p. 486-488, 1989.

LI, L-F.; LI, T.; ZHAO, Z-W. Differences of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, and old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China. **Mycorrhiza**, v.17, p. 655-665, 2007.

LIMA, R.L.F.A.; SALCEDO, I.H.; FRAGA, V.S. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes e, fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 257-268, 2007.

LUSK, C.H.; REICH, P.B.; MONTGOMERY, R.A.; ACKERLY, D.D.; CAVENDER-BARES, J. Why are evergreen leaves so contrary about shade? **Trends in Ecology & Evolution**, v.23, p.299–303, 2008.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, v. 257, p.71–83, 2003.

LYNCH, J.P.; HO, M.D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, v. 269, p.45–56, 2005.

MERGULHÃO, A.C.E.S.; OLIVEIRA, J.P.; BURITY, H.A.; MAIA, L.C. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas nativas e impactadas por mineração gesseira no semi-árido brasileiro. **Hoehnea**, v. 34, n.3, p. 341-348, 2007.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: America Society of Agronomy, p. 29-44, 1992.

MOHAMMAD, M.J.; HAMAD, S.R.; MALKAWI, H.I. Population of arbuscular mycorrhizal fungi in semi-arid environment of Jordan as influenced by biotic and abiotic factors. **Journal of Arid Environments**, v. 53, p. 409-417, 2003.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; WHEELER, W.W. Germplasm in the International Collection of arbuscular and Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation, and storage. **Mycotaxon**, v.48, p.491-528, 1993.

PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, v.32, p. 734-750, 2000.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, p. 123-130, 2007.

REQUENA, V.; JEFFRIES, P.; BAREA, J-M. Assessment of natural mycorrhizal potential in a desertified semiarid ecosystem. **Applied and Environmental Microbiology**, v.62, p.842-847, 1996.

RILLIG, M.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, v. 253, p.293-299, 2003.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v.233, p.167-177, 2001.

SAGGIN JÚNIOR, O.J. **Micorrizas arbusculares em mudas de espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras: Lavras-MG. 1997, 120 p.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed. Gainesville: University of Florida, 1988. 241p.

SCHULTZ, R.C.; KORMANIK, P.P.; BRYAN, W.C. Effects of fertilization and vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation on growth of hardwood seedlings. **Soil Science Society American Journal**. v.46, p.961-965, 1981.

SHI, Z.Y.; ZHANG, L.Y.; LI, X.L.; FENG, G.; TIAN, C.Y.; CHRISTIE, P. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals in plant communities of Junggar Basin, northwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p.10–20, 2007.

SILVA, G.A.; TRUFEM, S.B.F.; SAGGIN-JUNIOR, O.J.; MAIA, L.C. Arbuscular mycorrhizal fungi in a semiarid copper mining area in Brazil. **Mycorrhiza**, v.15, p.47-53, 2001

SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C.; CURI, N.; ROSADO, S.C.S.; DAVIDE, A.D. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native Woody species as related to sucessional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 107, p. 241-252, 1998.

SOUZA, R.G. **Aspectos ecológicos e introdução de mudas micorrizadas para revegetação de áreas de dunas mineradas, no litoral da Paraíba**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife: PE, 2008. 140 p.

SOUZA, R.G.; MAIA, L.C.; SALES, M.F.; TRUFEM, S.F.B. Diversidade e potencial e infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, v.1, p. 49-60, 2003

STUTZ, J.C.; COPEMAN, R.; MARTIN, C.A.; MORTON, J.B. Patterns of species composition and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in arid regions of Southwestern North America and Namibia, África. **Canadian Journal of Biology**, v.78, p.237-245, 2000.

TAO, L.; ZHIWEI, Z. Arbuscular mycorrhizas in hot and arid ecosystem in southwest China. **Applied Soil Ecology**, v.29, p.135-141, 2005.

WALLEY, F.L.; GERMIDA, J.J. Estimating the viability of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungal spores using tetrazolium salts as vital stains. **Mycologia**, v. 87, n.2, p. 273-279, 1995.

WANG, Y.Y.; VESTBERG, M.; WALKER, C.; HURNE, T.; ZHANG, X.; LINDSTRÖM, K. Diversity and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils of the Sicuani Province of mainland China. **Mycorrhiza**, v.18, p. 73-81, 2008.

WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology & Fertility of Soils**, v.31, p.249–253, 2002.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v.181, p.193–203, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYANA, A.A. A survey of soils for aggregate stability and glomalina, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

ZANETTI, R. **Análise fitossociológica e alternativas de manejo sustentável da mata da agronomia, Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1994. 92 p.

ZANGARO, W.; BONONI, V.L.R.; TRUFEM, S.B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.16, n.4, p. 603-622, 2000.

ZANGARO, W.; NISHIDATE, F.R.; VANDRESEN, J.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M.A. Root mycorrhizal colonization and plant responsiveness are related to root plasticity, soil fertility and sucessional status of native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 23, p. 53-62, 2007.

ZANGARO, W.; NISHIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.NAKANO, E.M. Micorrizas arbusculares em espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi. Paraná. **Cerne**, v.8, p.77-87, 2002.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S.M.A.; DOMINGOS, J.C.B.; NAKANO, E.M. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v.19, p. 315-324, 2003.

CAPÍTULO 3

RELAÇÕES ENTRE USO DA TERRA, DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

RELAÇÕES ENTRE USO DA TERRA, DIVERSIDADE E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO: A diversidade das comunidades de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode ser um fator determinante da produtividade e da diversidade de plantas em um determinado ecossistema e as plantas podem exercer grande influência sobre a ocorrência desses fungos. Neste estudo avaliou-se as relações entre diferentes sistemas de uso da terra e a comunidade de FMA no semi-árido paraibano. Na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, município de Taperoá, foram implementadas parcelas nos diferentes tipos de uso da terra: 1) cultivo agrícola tradicional milho + feijão; 2) pastagem de capim buffel; 3) cultivo de palma. Em cada tipo, foram estabelecidas fileiras intercaladas de maniçoba e gliricídia (parcelas agroflorestais) ou sem a presença das árvores (sistema convencional). O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso, com 4 repetições. O solo foi coletado na camada de 0-15 cm de profundidade, durante duas épocas (seca e chuvosa) em 2007. Nas amostras de solo, foi quantificado o teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina, determinada a densidade e viabilidade de esporos de FMA e o potencial de infectividade do solo e identificadas as espécies de FMA. Em raízes finas (<2mm) coletadas nas parcelas experimentais foi determinada a percentagem de colonização micorrízica. A presença de árvores aumentou a esporulação, a colonização micorrízica e a produção de propágulos infectivos de FMA nos três tipos de uso da terra. Houve maior produção de glomalina no sistema de produção de palma, independentemente da presença das árvores. Contudo, não houve efeito significativo da presença das árvores e dos sistemas de uso da terra sobre a riqueza de espécies de FMA. Espécies do gênero *Glomus* predominaram independentemente da presença das árvores, do sistema de uso da terra e do período de coleta.

Palavras chave: micorrizas, agroecossistemas, glomalina.

RELATIONSHIP BETWEEN LAND USE, DIVERSITY AND ACTIVITY OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE SEMI-ARID REGION OF NORTHEASTERN BRAZILIAN

ABSTRACT: The diversity of communities of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) may be a determinant of productivity and plant diversity in a given ecosystem and plants can strongly influence the occurrence of these fungi. This experiment evaluated the relationship between the diversity of systems of land use and AFM community in the semi-arid region of Paraíba. In the Agroecological Station Vila Maria Rita in the municipality of Taperoá, plots were implemented according to the types of land use: 1) traditional agricultural cultivation of maize and beans; 2) buffalo grass pasture; 3) cultivation of palm. In each type, agroforestry plots with the presence of interspersed rows of maniçoba and gliricidia or without their presence (conventional system) were established. The experiment was conducted in a randomized block design with four replications. Soil samples were collected in the layer of 0-15 cm depth during two seasons (dry and rain) in 2007. In the soil samples, the content of glomalin related soil protein was quantified, the density and viability of AMF spores and the potential of infectivity of the soil were determined, and the identification of AMF species was carried out. In fine roots (< 2 mm) collected in the experimental plots, the percentage of mycorrhizal colonization was determined. The presence of trees has increased sporulation, root colonization and production of infective propagules of AMF in the three types of land use. There was greater production of glomalin in the production system of palm, regardless of the presence of trees. However, no significant effect of the presence of trees and systems of land use on species richness of AMF. Species of *Glomus* predominated regardless of the presence of trees, the system of land use and the collection period.

Keywords: mycorrhizal, agroecosystems, glomalin.

INTRODUÇÃO

No semi-árido brasileiro existem diversas espécies arbóreas perfeitamente adaptadas às condições de semi-aridez da região que apresentam grande potencial para prover os mais diversos produtos e serviços nos agroecossistemas. Contudo, o crescimento demográfico, a evolução da estrutura fundiária e uma sucessão de cultivos comerciais (algodão, sisal, fumo, batata inglesa, mamona, etc), que variaram de acordo com as distintas mesorregiões, exerceram uma forte pressão sobre os recursos naturais (Sabourin et al., 2000).

De uma maneira geral, uma das consequências mais visíveis desse processo de ocupação e uso do solo no semi-árido paraibano foi a eliminação da vegetação nativa e a redução da presença de espécies arbóreas nos agroecossistemas (Lima & Sidersky, 2002). Diversos estudos indicam que a eliminação da cobertura arbórea geralmente resulta em acentuada redução dos teores de matéria orgânica e nutrientes do solo e na infiltração de água da chuva e em decorrência disso, ocorre aumentos nas taxas de erosão (Sampaio & Menezes, 2003)

Assim como o solo, vários outros componentes dos agroecossistemas são afetados negativamente com a desarborização. Como consequência da menor infiltração de água no solo, do aumento da erosão e do desaparecimento das matas ciliares, os mananciais, cursos d'água e reservatórios têm sua oferta de água diminuída e podem sofrer assoreamento ou eutrofização. Outra consequência é a marcante diminuição da biodiversidade dos agroecossistemas, pois certos organismos da fauna e da flora associados às espécies arbóreas ou ao ambiente de caatinga perdem nichos essenciais à sua preservação (Menezes et al., 2005).

Para minimizar a fragilidade dos sistemas de produção e a falta de árvores na região semi-árida paraibana, diversos agricultores estão fazendo uso dos sistemas agroflorestais. São práticas de agrossilvicultura que estão sendo exploradas como opções de uso da terra. Nesses sistemas, as culturas são estabelecidas nas ruas, entre as fileiras ou renques plantados com espécies arbustivas ou arbóreas, geralmente leguminosas, e que são podadas periodicamente (Silva, 2004).

Além das espécies vegetais, tem sido demonstrado também que a presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é fundamental para a revegetação de ecossistemas. Estes fungos têm papel significativo em aumentar o estabelecimento e a produtividade de espécies arbóreas, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde a produtividade da planta é limitada devido à baixa fertilidade do solo e ao déficit hídrico (Rao & Tarafdar, 1998).

Alterações na composição das comunidades de FMA podem apresentar reflexo sobre o desempenho produtivo das culturas (Silva Júnior, 2004). De acordo com Heijden et al. (2003), a diversidade de espécies fúngicas exerce um efeito importante na coexistência das plantas e na distribuição de N e P. Por sua vez, a diversificação de hospedeiros tem sido colocada como um fator responsável pelo aumento da diversidade de FMA (Moreira & Siqueira, 2006). Segundo Bever et al. (1996) e Eom et. al. (2000) a comunidade de plantas tem efeito significativo na diversidade e na composição da comunidade de FMA, sendo, portanto, de grande importância a estruturação, o desenvolvimento e a sustentabilidade da comunidade vegetal.

Pouco se sabe sobre o impacto que as alterações da composição das espécies vegetais podem ter no funcionamento da simbiose micorrízica e, por consequência, nos agroecossistemas. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar as relações entre a diversidade de sistemas de uso da terra e as comunidades de fungos micorrízicos arbusculares no semi-árido paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O estudo foi conduzido na Estação Agroecológica Vila Maria Rita, no município de Taperoá, que está localizado entre 7° 12' 23" de latitude Sul e 36° 49' 25" de longitude W Gr, com altitude média de 520 m. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico. A precipitação média do município é de 558 mm e a temperatura média é de 26 °C. Foram registradas as precipitações pluviométricas mensais no município, em 2007, ano de condução do experimento (Figura 1).

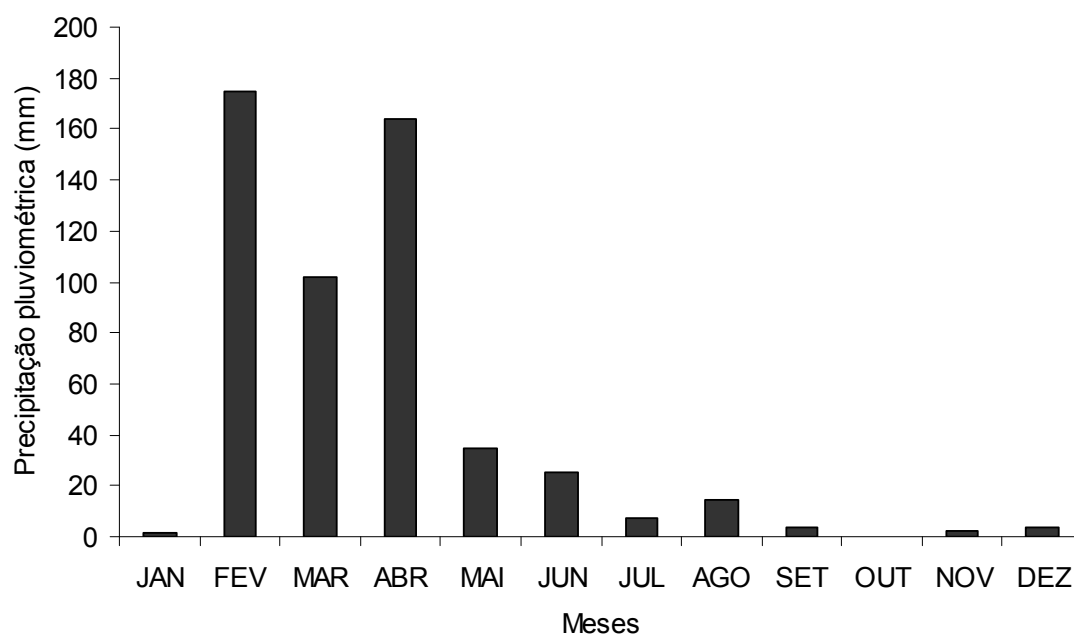


Figura 1. Precipitação mensal registrada em 2007, em Taperoá, PB (AESA, 2008).

Instalação do experimento

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. Foram instaladas parcelas experimentais de 6 x 10 m, com os seguintes sistemas de uso da terra: 1) cultivo agrícola tradicional com consórcio de milho (*Zea mays*) + feijão (*Phaseolus vulgaris*); 2) pastagem com espécie herbácea perene capim buffel (*Cenchrus ciliaris*); e 3) campo de cultivo de palma (*Opuntia ficus-indica*) para produção de forragem. Para cada um dos 3 sistemas de uso, foram estabelecidas parcelas agroflorestais com dimensões de 10 x 30 m (com a presença de fileiras intercaladas de árvores de maniçoba e gliricídia cujo espaçamento foi de 6 m entre fileiras e 1 m entre árvores nas fileiras) ou sem a presença das árvores (sistema convencional). Os espaçamentos nos monocultivos de feijão + milho e palma foram de 1 m entre fileiras e 50 cm entre plantas e de capim buffel foram de 50 cm entre fileiras e 10 cm entre plantas.

Coleta das amostras de solo e raízes

As coletas de solo e raízes foram realizadas durante duas épocas caracterizadas como estação chuvosa (maio) e seca (novembro), em 2007, correspondendo a 1 ano e 3 meses e 1 ano e 9 meses após o estabelecimento das parcelas experimentais, respectivamente. Foram coletadas 10 amostras simples em cada parcela, na camada de 0-15 cm de profundidade. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em peneira de 2 mm. O solo após peneirado, foi misturado, e dele retirada uma amostra composta. Raízes finas (<2 mm) foram coletadas nas parcelas experimentais, lavadas em água e acondicionadas em recipientes plásticos, contendo álcool a 50%, para conservação até as análises.

Caracterização química e física do solo

A caracterização química e física do solo (Tabela 1) foi realizada de acordo com metodologias propostas pela Embrapa (1999), seguindo os procedimentos: pH em H₂O (solo: 2,5 água, v/v); Ca⁺² e Mg⁺² (extraídos com KCl e determinados por absorção atômica); P, K⁺ e Na (extraídos com Mehlich I e determinados K⁺ e Na por fotometria de chama e o P por colorimetria); C orgânico (determinado por oxidação úmida em dicromato de potássio); e granulometria pelo método do densímetro.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo nos sistemas de uso, durante os períodos seco e chuvoso, em Taperoá, PB.

Sistema de uso da terra ¹	pH	P	K	Na	Ca	Mg	C.O.	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	H ₂ O	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			g kg ⁻¹		areia	argila	silte
Período chuvoso										
CC	7,69	77,45	0,55	0,16	9,02	1,61	7,82	698	172	130
PC	7,46	72,30	0,43	0,18	6,53	0,90	10,34	658	182	160
BC	7,70	65,23	0,50	0,31	5,84	0,99	9,51	685	172	143
CS	7,15	51,63	0,51	0,12	6,42	1,03	8,05	665	185	150
PS	7,09	60,81	0,41	0,17	7,15	1,16	8,13	633	197	170
BS	7,30	78,91	0,63	0,16	5,71	0,84	9,47	723	147	130
Período seco										
CC	7,71	79,55	0,33	0,27	7,51	1,41	11,62	698	172	130
PC	7,59	79,74	0,35	0,24	7,22	1,14	12,08	658	182	160
BC	7,85	72,60	0,39	0,24	5,95	1,10	9,63	685	172	143
RS	7,28	55,71	0,36	0,22	5,70	1,07	9,75	665	185	150
PS	7,41	51,37	0,35	0,16	6,65	1,20	10,72	633	197	170
BS	6,91	58,41	0,42	0,24	4,52	0,73	10,03	723	147	130

Sistema de uso da terra¹: (CC) = Consórcio milho + feijão com árvores; (PC) = Palma com árvores; (BC) = Buffel com árvores; (CS) = Consórcio milho + feijão sem árvores; (PS) = Palma sem árvores; (BS) = Buffel sem árvores.

Densidade e viabilidade de esporos, identificação das espécies de FMA e índices ecológicos

Os esporos de FMA foram extraídos de 50 g das amostras de solo pela técnica do peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguido por centrifugação em água e solução de sacarose 45% (Jenkins, 1964). Neste procedimento, o solo foi transferido para um recipiente contendo 1000 ml de água, homogeneizado e em seguida o sobrenadante vertido sobre três peneiras sobrepostas de 50µm, 100µm e 250µm. O material retido nas peneiras foi recolhido em um tubo de ensaio e submetido à centrifugação em água (3000 g), por 3 minutos, e em solução de sacarose 45% (2000 g), por 1 minuto. O sobrenadante foi vertido na peneira de 50µm e os esporos transferidos para placa canaletada.

Aos esporos extraídos do solo foram adicionados 5 ml de cloreto de iodonitrotetrazólio (INT) a 0,1%, e em seguida incubados por 5 dias em temperatura ambiente, para avaliação da viabilidade, conforme metodologia proposta por Walley & Germida (1995). Após esse período, foi realizada a contagem dos esporos em placas canaletadas com auxílio de microscópio estereoscópico (40x). Os esporos foram considerados viáveis quando reagiram com INT, adquirindo coloração vermelha, e não viáveis, quando não reagiram com INT, mantendo a coloração original.

Para identificação das espécies de FMA, foram montadas culturas armadilhas, nas quais amostras dos solos das parcelas foram diluídas em areia autoclavada (1:1) e transferidas para vasos plásticos com capacidade para 500 mL, utilizando painço (*Panicum miliaceum* L.) como planta hospedeira. Após três ciclos de multiplicação, os esporos foram extraídos do solo, agrupados de acordo com as características morfológicas (cor, tamanho e forma) e montados em lâminas com PVLG (álcool polivinílico-lactoglicerol) e com Melzer + PVLG (1:1; v:v) (Morton et al., 1993). Para subsidiar a identificação, foi utilizada literatura especializada (Schenck & Perez 1988; Carrenho, 1998; INVAM, 2009; Blaszkowski, 2009).

A riqueza de espécies foi determinada de acordo com o número de espécies de FMA que ocorreu na área. A frequência de ocorrência das espécies foi estimada segundo a equação: $Fi = Ji/k \cdot 100$ onde, Ji = número de amostras nas quais a espécie ocorreu; k = número total de amostras de solo.

Infectividade do solo

A infectividade do solo nas áreas foi avaliada de acordo com a técnica do número mais provável (NMP) de propágulos infectivos de FMA descrita por Feldmann & Idczak (1992). Foi montado um bioensaio para cada sistema de uso (com e sem a presença das espécies arbóreas) e período de coleta (chuvoso e seco). Para cada sistema de uso, uma amostra composta de solo (solo-inóculo) foi homogeneizada, seca, não esterilizada e peneirada (malha de 0,5 cm de abertura). Como diluente, foi utilizada areia peneirada (malha de 0,5 cm de abertura), lavada, autoclavada por 1 hora a 120 °C por três dias alternados e seca em estufa a 105 °C. As amostras do solo-inóculo foram diluídas em areia nas proporções de 1:0; 1:10; 1:100 e 1:1000, e transferidos para tubetes plásticos com capacidade para 100 g, com cinco repetições. Foi realizado o plantio de duas sementes de milho (*Zea mays* L.) em cada tubete, e após a germinação ($\pm$ 5 dias) apenas uma plântula foi mantida. As plantas foram coletadas aos 30 dias e todo o sistema radicular preparado para verificação da presença de estruturas de

FMA (Koske & Gemma, 1989). Para o cálculo do NMP foram usados três números: o primeiro corresponde ao número de repetições colonizadas na diluição 1:10; o segundo e terceiro números correspondentes às duas maiores diluições. O resultado da combinação dos três números foi encontrado na Tabela de Cochran (1950). Para obter o NMP de propágulos cm^{-3} de solo, o valor encontrado na tabela foi multiplicado por 100.

Quantificação de proteínas do solo relacionadas à glomalina

Foi quantificado o teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina pelo método de Wright & Upadhyaya (1998), no qual 0,25 g de solo foram autoclavados com 2 mL de citrato de sódio (20mM; pH 7,0), por 30 minutos a 121°C, e em seguida realizada centrifugação a 10000 g, durante 5 minutos. Conforme método de Bradford (1976), alíquota de 50 μL do sobrenadante obtido, juntamente com 2,5 mL do reagente azul de comassie brilhante G-250 foram utilizados para quantificação do teor de glomalina. Albumina bovina sérica foi utilizada como padrão.

Colonização micorrízica

A percentagem de colonização micorrízica foi determinada utilizando-se o método de intersecção dos quadrantes da placa quadriculada (Giovannetti & Mosse, 1980), após o processamento das raízes que consistiu da clarificação com KOH (10%) por 24 horas, em temperatura ambiente, seguida do tratamento com H_2O_2 alcalina, por 45 minutos, e com HCl (1%) por 3 minutos, e coloração com azul de Trypan (0,05%) (Koske & Gemma, 1989). Foram separados 100 segmentos de raízes coloridas para visualização de estruturas fúngicas (arbúsculos, vesículas e hifas), com auxílio de um microscópio estereoscópico (40x).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott e Knott, a 5% de probabilidade, para a comparação das médias, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Os dados referentes à densidade de esporos e percentagem de colonização micorrízica foram transformados, respectivamente, em $(x + 0,5)^{1/2}$ e $\arcsin \sqrt{x/100}$ (Banzatto & Kronka, 1992).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Independentemente da presença das árvores, de modo geral, foram registradas baixas densidades de esporos viáveis, em relação às densidades de esporos não viáveis. A fração de viáveis na densidade total de esporos variaram entre 4,2 e 11,5%, no período chuvoso, e entre 3,9 e 9,8%, no período seco. Segundo McGee (1989), a densidade de esporos viáveis em solos das regiões áridas e semi-áridas é relativamente baixa. Lima et al. (2007) também observaram que a densidade de esporos viáveis foi baixa, oscilando entre 1,5 e 3,7% da densidade total, independentemente do sistema de uso da terra, e atribuíram estes resultados às condições climáticas da região semi-árida.

Durante o período chuvoso, na presença das árvores, observou-se maior densidade de esporos (336 esporos em 50 g de solo) no sistema de consórcio milho + feijão (Tabela 2). Os sistemas de consórcio de milho + feijão e produção de palma não diferiram estatisticamente entre si com relação à densidade de esporos (290 e 261 esporos em 50 g de solo) na presença das árvores, durante o período seco. Na ausência das árvores, não houve diferença significativa entre os sistemas de uso da terra com relação à densidade de esporos, em ambos os períodos de coleta. Durante o período chuvoso, a presença das árvores promoveu aumento de 92 e 41% na densidade total de esporos nos sistemas de consórcio milho + feijão e produção de capim buffel, respectivamente. Foi registrado aumento de 56 e 31% na densidade total de esporos nos sistemas de consórcio milho + feijão e produção de palma, respectivamente, com a presença das árvores durante o período seco.

Estudos conduzidos em condições de campo (Collozzi-Filho & Balota, 1994; Collozzi-Filho & Cardoso, 2000; Carrenho et al., 2002; Benedetti et al., 2005) demonstraram que o cultivo de leguminosas favorece a esporulação e a diversidade de espécies de FMA, possivelmente devido à composição de seus exsudatos radiculares. Flavonóides produzidos por leguminosas como daidzeína, genisteína e coumestrol, estimularam a germinação de esporos e a colonização micorrízica (Larose et al., 2002; Antunes et al., 2006). A concentração de flavonóides encontrados em leguminosas é influenciada pelo genótipo e pelas condições ambientais (Hoeck et al., 2000).

Segundo Eom et al. (2000), o estímulo para maior densidade de esporos de FMA pelas leguminosas pode também ser atribuído a benefícios recíprocos entre o rizóbio e os FMA. A associação micorrízica e a simbiose com rizóbio contribuem para aumentar a taxa fotossintética e, conseqüentemente, o dreno de fotossintatos para os microsimbiontes (Mergulhão et al., 2001). Além disso, o benefício nutricional dos FMA permite que as plantas

estejam melhor nutridas com P e micronutrientes essenciais para a formação dos nódulos e para o funcionamento da fixação biológica de N₂. Além do P, também a absorção de Cu, Zn e Mo favorecem a nodulação e a fixação de N₂ (Pacovsky et al., 1986). Em contrapartida, o rizóbio, assim como outros microrganismos, são produtores de enzimas hidrolíticas conhecidas como “helpers” (auxiliares), que facilitam a penetração do fungo nas raízes (Moreira & Siqueira, 2006).

Tabela 2. Densidade de esporos (DE), colonização radicular (CR), número mais provável (NMP) de propágulos infectivos e teor de proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG) nos sistemas de uso da terra, com e sem a presença das árvores, durante os períodos chuvoso e seco, em Taperoá, PB.

Sistema de uso da terra ¹	DE (50 g de solo)			CR (%)	NMP (propágulos cm ⁻³ solo)	PSRG (mg g solo ⁻¹)
	Viáveis	Não viáveis	Total			
Período chuvoso						
CC	39aA	297aA	336aA	54,3cA	180	0,84bA
PC	14bA	159cA	173cA	78,6aA	350	1,00aA
BC	10bA	233bA	243bA	42,2bA	540	0,69cB
CS	12aB	163aB	175aB	49,4bA	140	0,91bA
PS	11aA	150aA	161aA	72,6aA	39	1,05aA
BS	15aA	158aB	173aB	33,1cA	180	0,86bA
CV(%)	25,37	16,16	16,25	14,78	-	11,85
Período seco						
CC	20aA	269aA	290aA	61,0bA	45	1,13aA
PC	18aA	243aA	261aA	72,1aA	180	1,25aA
BC	8bB	197bA	205bA	37,1cA	250	0,86bB
CS	13aB	173aB	186aB	33,2bB	52	1,06aA
PS	13aA	185aB	198aB	44,5aB	62	1,27aA
BS	19aA	177aA	196aA	35,8bA	45	1,18aA
CV(%)	30,54	19,06	18,97	15,33	-	15,95

Sistema de uso da terra¹: (PS) = Palma sem árvores; (PC) = Palma com árvores; (CS) = Consórcio milho + feijão sem árvores; (CC) = Consórcio milho + feijão com árvores; (BS) = Buffel sem árvores e (BC) = Buffel com árvores. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam os sistemas de uso entre si e letras maiúsculas comparam a presença ou não das árvores nos sistemas de uso.

Nos sistemas de produção de palma, as plantas apresentaram os maiores percentuais de colonização micorrízica, independentemente da presença das árvores, em ambos os períodos de coleta. As cactáceas habitam regiões áridas e semi-áridas, encontrando-se submetidas a diversos tipos de estresse, como altas temperaturas e baixa disponibilidade de água e nutrientes, provocados pela precipitação pluviométrica irregular e pelos solos onde o fósforo encontra-se em formas insolúveis e pouco disponíveis para as plantas (Azcón & Barea, 1997). Estas são condições favoráveis para o estabelecimento da simbiose micorrízica (Smith & Read, 1997). Segundo Bashan et al. (2000), plântulas de cactos desenvolvem muito lentamente suas raízes até que essas possam ser colonizadas por FMA. Não houve efeito significativo da presença das árvores nos sistemas de uso da terra sobre a colonização micorrízica durante o período chuvoso. Contudo, no período seco, observou-se aumento de 84 e 62% da colonização micorrízica nos sistemas consórcio milho + feijão e produção de palma, respectivamente, com a presença das árvores, possivelmente a leguminosa gliricídia devido ao seu sistema radicular profundo têm maior tolerância ao estresse hídrico, promovendo maior estabilidade e resiliência aos sistemas produtivos, pois podem utilizar recursos às vezes indisponíveis, como água e nutrientes das camadas mais profundas de solo.

Durante o período chuvoso, no sistema de produção do capim buffel foram registrados o maior número de propágulos infectivos de FMA, independentemente da presença das árvores. Este sistema também apresentou o maior número de propágulos infectivos de FMA durante o período seco, na presença das árvores. Contudo, na ausência destas, maiores valores foram registrados no sistema de produção da palma. Ganesan & Veeralkshmi (2006) consideraram o capim buffel como uma boa planta hospedeira para a multiplicação de *Glomus fasciculatum*, pois favoreceu a produção de propágulos infectivos por esta espécie, possivelmente devido ao seu rápido crescimento e abundante sistema radicular. Adicionalmente, o cultivo de leguminosas altamente micorrízicas pode aumentar o potencial de inóculo de FMA no solo, tanto na região do cultivo como nas áreas vizinhas (Collozzi-Filho & Cardoso, 2000).

Maiores teores de PSRG foram registrados no sistema de produção de palma, independentemente da presença das árvores, durante o período chuvoso. Durante o período seco, na presença das árvores, os sistemas consórcio milho + feijão e produção de palma não diferiram entre si, apresentando os maiores teores de PSRG. Contudo, verificou-se neste período, que, na ausência das árvores, os sistemas de uso da terra não diferiram significativamente entre si quanto aos teores de PSRG.

De modo geral, maiores teores de PSRG foram registrados no sistema de produção de palma, na qual as plantas também apresentaram maior percentual de colonização micorrízica, sugerindo que grandes quantidades de fotossintatos estavam sendo alocados para os FMA pelas plantas, o que possivelmente estimulou a produção desta proteína. Neste sistema, também foram observados os maiores teores de C orgânico no solo (Tabela 1), que são considerados dos indicadores mais consistentes do teor de glomalina nos ecossistemas. Correlações positivas entre as frações de PSRG e o teor de C orgânico têm sido registrados em solos naturais e cultivados (Wright & Upadhyaya, 1996; Bird et al., 2002; Rillig et al., 2003; Nichols & Wright, 2005).

Foram identificadas 17 espécies de FMA nos diferentes sistemas de uso da terra (Tabela 3). *Glomus* foi representado por 8 espécies, seguido por *Acaulospora* (5), *Scutellospora* (1) *Racocetra* (2) e *Entrophosphora* (1). Alguns estudos (Tao & Zhiwei, 2005; Gai et al., 2006; Li et al., 2007; Shi et al., 2007; Albuquerque, 2008) também demonstraram que espécies de *Acaulospora* e *Glomus* são dominantes em áreas de semi-árido.

Embora estes gêneros sejam compostos pelo maior número de espécies catalogadas, é possível que também se apresentem mais flexíveis às variáveis ambientais, ajustando seu padrão de esporulação às condições do ambiente e tolerando ou evitando, desta forma, condições desfavoráveis do semi-árido (Picone, 2000). As espécies de FMA têm diferentes tolerâncias e comportam-se de maneiras distintas, conforme as condições ambientais (Klironomos et al., 1993).

Nos sistemas de uso sem as árvores foi registrado um total de 16 espécies de FMA. Destas, foram exclusivas as espécies *G. tortuosum*, *S. cerradensis*, *R. fulgida*, *R. novaum*, *A. excavata* e *A. morrowiae*, enquanto que *Acaulospora longula* e *G. clavisporum* foram registradas somente nos sistemas de uso com a presença das árvores, nas quais foi observado um total de 12 espécies de FMA. A mudança da composição vegetal faz com que algumas espécies de FMA percam seus hospedeiros, apresentando, assim dificuldades para esporulação (Munyanziza et al., 1997).

Tabela 3. Espécies de FMA nos sistemas de uso da terra, com e sem a presença das árvores, em Taperoá, PB.

Espécie de FMA	Sistema de uso da terra ¹													
	PS		PC		CS		CC		BS		BC		*FR(%)	
	Período ²													
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
<i>Acaulospora foveoreticulata</i>	X	X			X		X	X			X		50	50
<i>Acaulospora excavata</i>									X				-	16,7
<i>Acaulospora longula</i>			X				X						33,3	-
<i>Acaulospora scrobiculata</i>			X		X				X				33,3	16,7
<i>Acaulospora morrowiae</i>						X							-	16,7
<i>Entrophospora infrequens</i>			X				X		X		X		66,7	-
<i>Glomus ambisporum</i>		X			X				X		X		50	16,7
<i>Glomus clavisporum</i>											X		16,7	-
<i>Glomus claroideum</i>		X		X		X		X					-	66,7
<i>Glomus etunicatum</i>	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	83,3	83,3
<i>Glomus intraradices</i>		X	X		X	X		X			X	X	50	66,7
<i>Glomus macrocarpum</i>	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	100	66,7
<i>Glomus mosseae</i>	X			X		X	X	X	X		X		66,7	50
<i>Glomus tortuosum</i>									X				16,7	-
<i>Racocetra novaum</i>		X											-	16,7
<i>Racocetra fulgida</i>	X												16,7	-
<i>Scutellospora cerradensis</i>									X				16,7	-
Riqueza de espécies	5	6	6	4	5	4	6	6	7	4	7	4	-	-

Sistema de uso da terra¹: (PS) = Palma sem árvores; (PC) = Palma com árvores; (CS) = Consórcio milho + feijão sem árvores; (CC) = Consórcio milho + feijão com árvores; (BS) = Buffel sem árvores e (BC) = Buffel com árvores.

Período²: C=Chuvoso; S=Seco.

*FR = Frequência Relativa

Independentemente da presença das árvores, foram identificadas 12 espécies de FMA nos sistemas de produção da palma e do capim buffel e 11 espécies no sistema consórcio milho + feijão. *Glomus clavisporum*, *G. tortuosum*, *S. cerradensis* e *A. excavata* foram observados somente no sistema de produção de capim buffel e *R. fungida* e *R. novaum* no sistema de produção de palma. *A. morrowiae* foi identificada apenas no consórcio de milho + feijão.

Glomus macrocarpum e *G. etunicatum* apresentaram maiores índices de ocorrência durante os períodos chuvoso e seco, respectivamente, o que pode ser atribuído à maior resistência aos estresses edáficos, persistindo por mais tempo no solo. Além disso, segundo Caproni et al. (2003), *G. macrocarpum* apresenta alto potencial infectivo no solo e assim pode efetuar constante re-infecção radicular e com o passar do tempo, se outras espécies não se estabelecerem, esta espécie pode tornar-se dominante (Carrenho et al., 2001).

Segundo Carrenho et al. (2001), espécies raras ou de baixa frequência podem estar presentes no ambiente sob outras formas (células auxiliares, hifas, raízes colonizadas) ou simplesmente aparecerem como resquício de uma comunidade pré estabelecida em planta de ciclo de vida curto, ou ainda terem sido produzidas nas proximidades e dispersadas, sem obterem êxito na ocupação do novo ambiente.

Variações sazonais na frequência de espécies de FMA não necessariamente refletem a eliminação destas do ambiente (Purin et al., 2006). Hospedeiros anuais, como leguminosas ou gramíneas que podem estar presentes em uma estação e ausentes em outra, dificultam ou mesmo não permitem a produção de esporos por algumas espécies, e, como consequência, a sua detecção no solo. Este aspecto demonstra a importância de estudar a diversidade de FMA em mais de uma estação a fim de se obter melhor representação da comunidade micorrízica.

CONCLUSÕES

1. A presença das árvores favoreceu a esporulação, a colonização micorrízica e o número de propágulos infectivos de FMA nos sistemas de uso da terra;
2. Em ambos os períodos, o sistema de produção de palma, independentemente da presença das árvores, contribui para a produção de glomalina pelos FMA;
3. De modo geral, maior riqueza de espécies de FMA é observada nos sistemas de uso da terra sem a presença das árvores;
4. Não houve efeito significativo da presença das árvores e dos sistemas de uso da terra sobre a riqueza de espécies de FMA;
5. Espécies do gênero *Glomus* predominaram independentemente da presença das árvores, do sistema de uso da terra e do período de coleta.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi parcialmente financiado com recursos do IAI (CRN2-014); do CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-9); e do Edital Facepe PPP 2006 (Processo APQ-0633-5.01/06). Os autores também agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvasMensais>> Acesso em: 25 nov. 2008.

ALBUQUERQUE, P.P. **Diversidade de Glomeromycetes e atividade microbiana no solo em áreas de caatinga nativa do estado de Pernambuco, Brasil.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco: Recife-PE 115 p. 2008.

ANTUNES, P.M.; RAJCAN, I.; GOSS, M.J. Specific flavonoids as interconnecting signals in the tripartite symbiosis formed by arbuscular mycorrhizal fungi, *Bradyrhizobium japonicum* (Kirchner) Jordan and soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 533–543, 2006.

AZCÓN, R.; BAREA, J.M. Mycorrhizal dependency of a representative plant species in Mediterranean shrublands (*Lavandula spica* L.) as a key factor to its use for revegetation strategies in desertification-threatened areas. **Applied Soil Ecology**, v.7, p. 83-92, 1997.

BANZATTO, D.V.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola.** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1992. 247 p.

BASHAN, Y.; DAVIS, E.A.; CARRILLO-GARCIA, A.; LIDERMAN, R.G. Assessment of mycorrhizal inoculum potencial in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran Desert. **Applied Soil Ecology**, v.14, p. 165-175, 2000

BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z.I.; GIRACCA, E.M.N.; STEFFEN, R.B. Diversidade de fungos micorrízicos na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.1, p.44-51, 2005.

BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, v.84, p.71-82, 1996

BIRD, S.B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v.166, p. 445-455, 2002.

BLASZKOWSKI, 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/index.html>. Acesso em: 20 set. 2009.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of micrograms quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analyses Biochemists**, v.72, p. 248-254, 1976.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; TRUFEM, S.B. GRANHA, J.R.D.O.; MONTEIRO, A.B. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas revegetadas após mineração de bauxita em Porto Trombetas, Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p. 1409-1418, 2003.

CARRENHO, R. **Influência de diferentes espécies de plantas hospedeiras e fatores edáficos no desenvolvimento de FMA.** Tese de doutorado. Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo – SP, 1998, 135p.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasílica**, v. 15, p.115-124, 2001.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Effects of using host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. **Revista Brasileira de Botânica**, v.25, p. 93-101, 2002.

COCHRAN, W.G. **Biometrics**, v.6, p. 105-116, 1950.

COLLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro e leguminosas de verão. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 5., 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis, 1994, p. 17.

COLLOZZI-FILHO, A.; CARDOSO, J.B.N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2033-2042, 2000

EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / Embrapa Solos**, Embrapa Informática agropecuária; organizador Fábio César da Silva. – Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia de Tecnologia, 1999, 370 p.

EOM, A.H.; HARTNETT, D.C.; WILSON, G.W.T. Host plant species on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, v.122, p. 435-444, 2000.

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. 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 Methods in Microbiology**. Academic Press, London, p. 799-817, 1992.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. IN: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Programa e resumos...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258

GAI, J.P.; FENG, G.; CAI, X.B.; CHRISTIE, P.; LI, X.L. A preliminary survey of the arbuscular mycorrhizal status of grassland plants in southern Tibet. **Mycorrhiza**, v.16, p. 191-196, 2006.

GANESAN, V.; VEERALAKSHMI, M. Assessment of suitable host for the mass multiplication of arbuscular mycorrhiza *Glomus fasciculatum*. In: JAYABALAN, N. **Plant Biotechnology**, Kul Bhushan Nangia APH Publishing Corporation: New Delhi, p. 3003-316, 2006.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v.46, p.235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v.84, p.484-500, 1980.

HEIJDEN, M.G.A; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. **New Phytologist**, v. 157, p. 569-578, 2003.

HOECK, J.A., FEHR, W.R., MURPHY, P.A., WELKE, G.A. Influence of genotype and environment on isoflavone contents of soybean. **Crop Science**, v. 40, p. 48–51. 2000.

INVAM . **International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi**. Disponível em: <http://www.invam.caf.wvu.edu/>. Acesso em: 20 set. 2009.

JENKINS, W.R.A. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.

KLIRONOMOS, J.N.; MOUTOGOLIS, P.; KENDRICK, B.; WIDDEN, P.A comparison of spatial heterogeneity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in two maple-forest soils. **Canadian Journal of Botany**, v. 71, p. 1472-1480, 1993.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N.A. modified procedure for staining roots to detect mycorrhizas. **Mycological Research**. v. 48, p. 486-488, 1989.

LAROSE, G.; CHÊNEVERT, R.; MOUTOGLIS, P.; GAGNE, S.; PICHE, Y.; VIERHEILIG, H. Flavonoid levels in roots of *Medicago sativa* are modulated by the developmental stage of the symbiosis and the root colonizing arbuscular mycorrhizal fungus. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 1329–1339, 2002.

LI, L-F.; LI, T.; ZHAO, Z-W. Differences of arbuscular mycorrhizal fungal diversity and community between a cultivated land, and old field, and a never-cultivated field in a hot and arid ecosystem of southwest China. **Mycorrhiza**, v.17, p. 655-665, 2007.

LIMA, M.; SIDERSKY, P. O papel das plantas nativas nos sistemas agrícolas familiares no Agreste da Paraíba. In: SILVEIRA, L.M.; PETERSEN, P.; SABOURIN, E. (org.). **Agricultura familiar e agroecologia no semi-árido: Avanços a partir do Agreste da Paraíba**. Rio de Janeiro, RJ, p. 201-218, 2002.

LIMA, R.L.F.A.; SALCEDO, I.H.; FRAGA, V.S. Propágulos de fungos micorrízicos arbusculares em solos deficientes e, fósforo sob diferentes usos, da região semi-árida no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 257-268, 2007.

McGREE, P. Variation in propagule numbers of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a semi-arid soil. **New Phytopathology**, v.92, p. 28-33, 1989.

- MENEZES, R.S.C.; GARRIDO, M.S.; PEREZ, A.M. Fertilidade dos solos no semi-Árido. **Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Recife, 2005. 30 p. CD-ROM.
- MERGULHÃO, A.C.E.S.; SILVA, M.L.R.; BURITY, H.A.; STAMFORD, N.P. Influência da dupla inoculação rizóbio e fungos micorrízicos arbusculares em plantas de sabiá sob solos de diferentes texturas. *Revista Ecossistemas*, v. 26, p. 42-47, 2001.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica de solo**. Lavras: UFLA, 2006, 729p.
- MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; WHEELER, W.W. Germplasm in the International Collection of Arbuscular and Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation, and storage. **Mycotaxon**, v.48, p.491-528, 1993.
- MUNYANZIZA, R.; KEHRI, H.; BAGYARAJ, D.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and tree. **Applied Soil Ecology**, v.6, p. 77-85, 1997
- NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, p. 985-997. 2005.
- PASCOVSKY, R.S.; PAUL, E.A.; BETHLENTALVAY, G.J. Response of mycorrhizal and P-fertilized soybeans to nodulation by *Bradyrhizobium* or ammonium nitrate. **Crop Science**, v.26, n.1, p. 145-150, 1986.
- PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, v.32, p. 734-750, 2000.
- PURIN, S.; FILHO KLAUBERG, O.; STÜRMER, S.L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, p. 1831-1839, 2006.
- RAO, A.V.; TARAFDAR, J.C. Significance of micro-organisms in afforestation programmes in arid zone. **Annals of Arid Zone**, v.37, p. 337-346.1998.
- ROSS, J. P.; HARPER, J. A. Effect of Endogone mycorrhiza on soybean yields. **Phytopathology**, v. 60, n. 11, p. 1552-1556, 1970.

RILLIG, M.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, v. 253, p.293-299, 2003.

SABOURIN, E.; SILVEIRA, L.M.; TONNEAU, J.P.; SIDERSKY, P. **Fertilidade e agricultura familiar: um estudo sobre o manejo da biomassa**. Esperança: AS-PTA/CIRAD, 2000.

SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R.S.C. Sustainable soil use in tropical South America - with emphasis on Brazil. In: TIESSEN, H. (org.). **Capacity of soils for sustaining production** - A global overview, in Encyclopedia of Life Support Systems, UNESCO-EOLSS Oxford, UK, p. 1-11, 2003.

SCHENCK, N. C.; PEREZ, Y. **A manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi**, 2 ed. Gainesville: University of Florida, 1988. 241p.

SHI, Z.Y.; ZHANG, L.Y.; LI, X.L.; FENG, G.; TIAN, C.Y.; CHRISTIE, P. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals in plant communities of Junggar Basin, northwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p.10–20, 2007.

SILVA JÚNIOR, J.P. **Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associadas à pupunha e ao cupuaçu cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ. Piracicaba – SP, 2004, 95 p.

SILVA, E. D. **Dinâmica da matéria orgânica leve e nutriente do solo, condições microclimáticas e produtividade de biomassa em um sistema agroflorestal com gliricídia e milho no agreste paraibano**. Trabalho de Graduação (Curso de Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia - PB, 2004, 37 p.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic Press, London, 1997.

TAO, L.; ZHIWEI, Z. Arbuscular mycorrhizas in hot and arid ecosystem in southwest China. **Applied Soil Ecology**, v.29, p.135-141, 2005.

WALLEY, F.L.; GERMIDA, J.J. Estimating the viability of vesicular-arbuscular mycorrhizae fungal spores using tetrazolium salts as vital stains. **Mycologia**, v. 87, p. 273-279, 1995.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v.161, p.575-586, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

CAPÍTULO 4

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DE EXTRATORES SOBRE OS TEORES DE GLOMALINA EM SOLOS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE ARMAZENAMENTO E DE EXTRATORES SOBRE OS TEORES DE GLOMALINA EM SOLOS DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO: Fungos micorrízicos arbusculares produzem glomalina, uma glicoproteína que contribui na formação de agregados estáveis, no seqüestro de metais pesados e como um reservatório de C e N nos solos. Solo, clima, espécie fúngica, presença e tipo de vegetação, sistema de uso do solo e práticas de manejo agrícola influenciam na quantidade de glomalina depositada pelos FMA. É importante a conservação adequada das amostras de solo e a utilização de extratores eficientes para a determinação mais precisa da glomalina. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de extratores e o efeito da temperatura de armazenamento das amostras sobre a quantidade de glomalina extraída. Foram coletadas de solo amostras na profundidade de 0-15 cm, de um Neossolo Flúvico (A₁) e um Luvisolo (A₂), na região semi-árida do nordeste do Brasil. O solo referente à área A₁ manteve-se por muitos anos sob cultivo agrícola sem insumos e o solo da área A₂ encontrava-se sob vegetação de caatinga, utilizada como pasto. Após coleta foi quantificado o teor de glomalina e parte das amostras foi acondicionada em temperatura ambiente e outra parte em refrigerador a 4 °C, ambas por 15 meses. Após este período, foi quantificado o teor de glomalina, sendo testadas como soluções extratoras o citrato de sódio e o pirofosfato de sódio, ambas a 20 mM e pH 7,0. O solo da área A₂ apresentou maiores teores de glomalina que o da área A₁. Independentemente da área, os solos apresentaram em média 48% a mais de glomalina quando mantidos sob refrigeração. O pirofosfato extraiu 17% mais glomalina que o citrato no solo da área A₁, contudo na área A₂, não houve diferença entre as soluções extratoras. Para uma quantificação mais precisa da glomalina facilmente extraível, recomenda-se a refrigeração das amostras de solo a 4 °C logo após a coleta em campo.

Palavras-chave: fungos micorrízicos arbusculares, proteínas do solo relacionadas à glomalina.

INFLUENCE OF THE STORAGE AND EXTRACTION TEMPERATURE ON THE LEVELS OF GLOMALIN IN SOILS OF THE SEMI-ARID REGION OF NORTHEASTERN BRAZILIAN

ABSTRACT: Arbuscular mycorrhizal fungi produce glomalin, a glycoprotein that contributes to the formation of stable aggregates in the sequestration of heavy metals and as a reservoir of C and N in soils. Soil, climate, fungus species, presence and type of vegetation, land use systems and farm management practices influence the amount of glomalin deposited by AMF. The proper conservation of soil samples and the use of efficient extractants are important for a more precise determination of glomalin. The objective of this study was to evaluate the efficiency of extractants and the effect of storage temperature of the samples on the amount of extracted glomalin. Samples were collected at a depth of 0-15 cm, Fluvic Neosol (A₁) and a Luvisol (A₂), in the semi-arid region of northeastern Brazil. The soil on the area A₁ remained for many years under agricultural cultivation without inputs, whereas the soil of the area A₂ was under caatinga vegetation, used as pasture. After collection, the content of glomalin was quantified and one portion of samples was stored at room temperature and another portion in a refrigerator at 4 °C, both for 15 months. After this period, the glomalin content was quantified, using sodium citrate and sodium pyrophosphate as extractors, both at 20 mM and pH 7.0. The soil of area A₂ showed higher levels of glomalin than that of area A₁. Regardless of the area, the soils had on average 48% more glomalin when kept under refrigeration. The pyrophosphate extracted 17% more glomalin than citrate in the soil of area A₁, but the values did not differ in area A₂. For a more precise quantification of easily extractable glomalin, cooling of the soil samples at 4 °C is recommended immediately after collection in the field.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin related soil protein.

INTRODUÇÃO

A glomalina, uma glicoproteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares, é atualmente definida operacionalmente pelo método de extração (Nichols & Wright, 2005). Em estudos de campo em que se utilizam indicadores da atividade dos FMA, a quantificação da glomalina apresenta-se como uma avaliação rápida, barata, objetiva e relativamente fácil de ser realizada, em comparação a outras variáveis como densidade de esporos, comprimento de hifas, colonização radicular e potencial de inóculo (Purin & Rillig, 2007). Embora a contribuição de

produtos não micorrízicos, tais como polifenóis, não pode ser excluído (Halvorson & Gonzalez, 2008; Schindler et al., 2007; Wriffen et al., 2007), a glomalina é considerada o principal componente do reservatório de proteínas do solo relacionadas à glomalina (Bollinger et al., 2008; Janos et al., 2008).

A extração da glomalina das hifas ou do solo é um processo extremamente severo. No entanto, não afeta a estrutura molecular dessa glicoproteína, demonstrando claramente sua estabilidade incomum, que resiste aos muitos produtos químicos usados na extração (Wright et al., 1996). Numerosos solubilizadores de proteínas utilizados para liberar glomalina do micélio fúngico, incluindo detergentes, ácidos, bases, solventes e agentes caotrópicos, não foram eficientes (Driver et al., 2005). De forma semelhante, quelatos como EDTA ou EDDHA, não tiveram sucesso em competir com a glomalina por ferro (González-Chavéz et al., 2004). Estas dificuldades existentes para extração da glomalina de solos, possivelmente, impediram a descoberta desta proteína por muitos anos (Haddad & Sarkar, 2003).

A solubilização de glomalina na hifa ou no solo é efetuada através do uso de citrato de sódio 20-50 mM, pH 7,0 ou 8,0, em elevada temperatura (121°C) (Wright & Upadhyaya, 1996; Wright et al., 1996). O citrato atua como um quelante competidor pelo ferro associado com a glomalina (Wright & Upadhyaya, 1998) e desta forma, auxilia a solubilização da molécula (Wright et al., 2006). A glomalina pode também ser liberada de complexos organominerais no solo por extração com pirofosfato de sódio, normalmente usado para extrair substâncias húmicas dos solos, pois sódio monovalente dispersa óxidos de Fe e Al que atuam como ligantes entre matéria orgânica e minerais de argila (Clapp & Hayres, 1999).

Além do extrator utilizado, a eficiência de extração da glomalina depende do pH da solução extratora e da temperatura durante o processo de extração. Possivelmente, outros fatores, como as características dos solos, as condições e o tempo de armazenamento das amostras, podem influenciar na quantidade de glomalina extraída dos solos. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do citrato de sódio e do pirofosfato de sódio como extratores da glomalina, bem como o efeito da temperatura de armazenamento das amostras, ao longo de um período de 15 meses, sobre a quantidade dessa proteína extraída de dois tipos de solo da região semi-árida paraibana.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de solo foram coletadas em novembro de 2007, na camada de 0-15 cm de profundidade, em um Neossolo Flúvico (A₁) e um Luvisolo (A₂), da região semi-árida

paraibana. O A₁ é um solo degradado de textura areia franca, que encontra-se durante muitos anos sob cultivo agrícola, sem insumos, em Taperoá, que tem precipitação média anual de 558 mm e temperatura média anual de 26 °C. O A₂ é um solo de textura franco argilo arenosa, que encontra-se sob vegetação de caatinga, utilizado como pasto, em Patos, que tem precipitação média anual de 600 mm e temperatura média anual de 32,8 °C. Em cada área de coleta, foram demarcadas 4 parcelas, nas quais foi coletada uma amostra composta de solo, proveniente de 10 amostras simples que foram secas ao ar, destorroadas, misturadas e peneiradas em peneira de 2 mm.

Foi realizada a caracterização química e física dos solos (Tabela 1), de acordo com metodologias propostas pela Embrapa (1999): pH em H₂O (solo: 2,5 água, v/v) por potenciometria; Ca⁺² e Mg⁺² extraídos por KCl e determinados por absorção atômica; P, K⁺ e Na, extraídos com solução de Mehlich I e determinados por fotometria de chama (K⁺ e Na) e por colorimetria (P); C orgânico (C.O.) determinado por oxidação úmida em dicromato de potássio; e granulometria pelo método do densímetro.

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos.

Solo*	pH	P	K	Na	Ca	Mg	C.O.	Granulometria (g kg ⁻¹)		
	H ₂ O	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹		g kg ⁻¹			areia	argila	silte
A ₁	7,16	58,41	0,42	0,24	4,52	0,73	10,03	723	147	130
A ₂	6,08	4,21	0,23	0,11	3,91	1,17	13,63	638	269	93

*A₁ = Neossolo Flúvico; A₂ = Luvissolo.

Em subamostras dos solos foi realizada também a quantificação inicial de glomalina, pelo método de Wright & Upadhyaya (1998), no qual 0,25 g de solo foram autoclavados com 2 mL de citrato de sódio (20 mM; pH 7,0), por 30 minutos a 121 °C, e em seguida centrifugados a 10000 g, durante 5 minutos. O sobrenadante foi coletado para quantificação do teor de glomalina (mg g de solo⁻¹) pelo método de Bradford (1976), utilizando como padrão albumina bovina sérica.

O restante do solo das amostras foi transferido para sacos plásticos e submetido a duas condições de armazenamento, sendo parte acondicionada à temperatura ambiente (± 25 °C) e outra parte em refrigerador (± 4 °C). Após 15 meses, foi novamente realizada a quantificação de glomalina pelo método de Wright & Upadhyaya (1998) nas amostras submetidas às duas condições de armazenamento, utilizando com solução extratora citrato de sódio (20 Mm; pH

7,0). Nas amostras mantidas em temperatura ambiente, foram testadas duas soluções para extração da glomalina: citrato de sódio ($C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$) e pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$), ambos a 20 mM, com pH ajustado para 7,0.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade, para comparação das médias, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de glomalina antes do armazenamento foram de 1,11 e 1,36 mg g solo⁻¹ nas áreas A₁ e A₂, respectivamente. Maiores teores de glomalina em A₂, são possivelmente explicados pelo baixo pH de 6,08 (Tabela 1). Alguns autores (Rilling et al., 2003; Haddad & Sarkar, 2003) observaram correlação negativa entre concentrações de glomalina e pH do solo. Fungos tendem a predominar em solos ácidos, pois em solos alcalinos existe maior concorrência com bactérias e outros organismos (Brady, 1990). Como a glomalina é produzida por FMA, é de se esperar que haja maior produção desta proteína em solos ácidos (Haddad & Sarkar, 2003).

Tabela 2. Quantificação do teor de glomalina em dois solos do semi-árido nordestino submetidos a duas temperaturas de armazenamento durante 15 meses.

Solo *	Sem armazenamento	Com armazenamento	
		Ambiente ($\pm 25^\circ C$)	Refrigerada ($\pm 4^\circ C$)
		(mg g solo ⁻¹)	
A ₁	1,11B	0,63Bb	0,93Ba
A ₂	1,36A	0,97Ab	1,32Aa
CV (%)		15,32	

*A₁ = Neossolo Flúvico; A₂ = Luvissolo.

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott & Knott, 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam na coluna o teor de glomalina entre os dois solos em cada temperatura de armazenamento e letras minúsculas comparam na linha o efeito das duas temperaturas de armazenamento sobre o teor de glomalina em cada solo.

O solo A₂ apresentou também maior teor de C orgânico (13,63 g kg⁻¹) quando comparado ao solo A₁ (10,03 g kg⁻¹) (Tabela 1). O C orgânico é um dos indicadores mais consistentes da

concentração de glomalina nos ecossistemas. Correlações positivas entre as frações de glomalina e o teor de carbono orgânico têm sido registradas em solos naturais e cultivados (Wright et al., 1996; Franzluebbers et al., 2000; Bird et al., 2002; Rillig et al., 2003; Nichols & Wright, 2005).

Após 15 meses de armazenamento em temperatura refrigerada, o solo A₁ apresentou 84% da quantidade inicial de glomalina e o solo A₂, 97%, enquanto que nas amostras mantidas em temperatura ambiente, os teores foram 57% e 71% em A₁ e A₂, respectivamente. Rillig et al. (2003) demonstraram que 57% da glomalina permaneceu após 413 dias de incubação do solo a 25 °C, em laboratório, indicando que certa quantidade desta proteína pode ser uma fração recalcitrante do C do solo. Steinberg & Rillig (2003) observaram que após 150 dias de incubação do solo a 18 °C, a concentração de glomalina diminuiu em 25%.

Embora a glomalina seja uma biomolécula relativamente estável (Wright & Upadhyaya, 1998), o armazenamento das amostras de solo em temperatura ambiente pode ter favorecido a atividade microbiana, com degradação de hifas e esporos (Driver et al., 2005), e utilização da glomalina como fonte de substrato para seu crescimento (Rilling et al., 2003).

Utilizando como solução extratora o pirofosfato de sódio, a quantidade de glomalina extraída no solo A₁ foi 17% superior que extraído com citrato de sódio (Tabela 3). Entretanto, para o solo A₂, não houve diferença significativa entre a quantidade de glomalina solubilizada pela solução de citrato de sódio (0,97 mg g solo⁻¹) e pirofosfato de sódio (0,99 mg g solo⁻¹).

Tabela 3. Quantificação do teor de glomalina em dois solos do semi-árido nordestino armazenados a temperatura ambiente (± 25 °C) por 15 meses, comparando duas soluções extradoras.

Solo*	Citrato de sódio	Pirofosfato de sódio
	(mg g solo ⁻¹)	
A ₁	0,63Bb	0,74Ba
A ₂	0,97Aa	0,99Aa
CV (%)	7,92	

*A₁ = Neossolo Flúvico; A₂ = Luvisolo.

Médias seguidas por letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott & Knott 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam na coluna o teor de glomalina entre os dois solos por cada extrator e letras minúsculas comparam na linha a eficiência dos dois extratores sobre o teor de glomalina em cada solo.

Wright et al. (2006) verificaram que pirofosfato de sódio foi mais eficiente do que borato de sódio e citrato de sódio (todos na concentração 100 mM; pH 9,0) na extração de glomalina, em sete solos, embora não tenham observado diferenças na quantidade de glomalina extraída diretamente do micélio de três espécies fúngicas. No presente estudo, assim como no estudo conduzido por Wright et al. (2006), não parece ter havido influência da concentração do íon sódio sobre a extração de glomalina, considerando que o borato contém 12% de sódio, aproximadamente metade do sódio contido no citrato e no pirofosfato, que é de 23% e 21%, respectivamente.

A constante de estabilidade do Fe com os ligantes usados obedece à ordem de pirofosfato > citrato > borato. Contudo, a estabilidade de ligação com o Fe também não parece explicar as diferenças entre os extratores, pois no estudo conduzido por Wright et al. (2006) o borato de sódio extraiu mais glomalina que o citrato de sódio, em quatro dos sete solos testados.

É possível que, devido à alta afinidade do pirofosfato de sódio por cátions (Guerra & Santos, 1999), as pontes catiônicas entre a glomalina e a argila sejam rompidas, resultando em maior liberação da molécula por este extrator no solo A₁, uma vez que este apresenta menor teor de argila (14,7%) e a molécula encontra-se mais fracamente adsorvida. No solo A₂, devido ao maior teor de argila (26,9%), a glomalina pode ser adsorvida com maior intensidade, o que dificulta a sua extração por ambos os extratores, considerando que os teores obtidos não diferiram estatisticamente entre si.

A decomposição da glomalina pode ser influenciada pelo conteúdo de argila, uma vez que estes minerais promovem proteção física (Nichlos & Wright, 2005), ou ainda pelo grau com que a molécula encontra-se ligada às partículas do solo (Tresender & Tuner, 2007).

Quando comparada a eficiência de cada extrator separadamente, tanto o citrato quando o pirofosfato extraíram maior quantidade da proteína do solo A₂ que do solo A₁. Foi demonstrado que o solo A₂ naturalmente apresenta maior teor de glomalina, embora esta se apresente mais fortemente adsorvida pelos minerais de argila.

CONCLUSÕES

1. Solos armazenados sob refrigeração (4 °C), durante 15 meses, apresentaram até 48% mais glomalina do que quando armazenados a temperatura ambiente;
2. O pirofosfato de sódio extraiu 17% mais glomalina do que o citrato de sódio de amostras do Neossolo Flúvico;

3. Recomenda-se o refrigeramento das amostras de solo a 4°C após a coleta para quantificação mais precisa da glomalina.

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi parcialmente financiado com recursos do IAI (CRN2-014); do CNPq (Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/MDS/SESAN 36/2007- Agricultura Familiar - Processo 551731/07-9); e do Edital Facepe PPP 2006 (Processo APQ-0633-5.01/06). Os autores também agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado e de produtividade de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRD, S. B.; HERRICK, J. E.; WANDER, M. M.; WRIGHT, S. F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, p.445–455, 2002.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.72, p. 248-254, 1976

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 10^a ed.: New York: Macmillan Publishing, p. 227– 230. 1990.

CLAPP, C.E.; HAYRES, M.H.B. Characterization of humic substances isolated from clay and silt sized fractions of a corn residue-amended agricultural soil. **Soil Science**, v. 164, p. 899-913, 1999.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 101-106, 2005.

EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / Embrapa Solos**, Embrapa Informática agropecuária. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia de Tecnologia, 1999, 370 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...**São Carlos: UFSCar, p. 255-258. 2000.

FRANZLUEBBERS, A.J.; WRIGHT, S.F.; STUEDEMANN, J.A. Soil aggregation and glomalin under pastures in the southern Piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1018–1026, 2000

GONZÁLEZ-CHAVÉZ, M.C.; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution**, v. 130, p. 317-323, 2004.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999, p.267-291.

HADDAD, M.J.; SARKAR, D. Glomalin, a newly discovered component of soil organic matter: Part II – Relationship with soil properties. **Environmental Geosciences**, v. 10, p. 99-106, 2003.

NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, p. 985-997, 2005.

PURIN, S.; RILLIG, M.C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalina: limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, p.123-130, 2007

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, v. 253, v.2, p. 293-299, 2003.

STEINBERG, P.D.; RILLING, M.C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p.191–194, 2003.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, p.193–203, 1996

WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, W.F. Comparison of efficiency of three extractants to solubilize glomalina on hyphae and in soil. **Chemosphere**, v.64, p. 1219-1224, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação orgânica tem reconhecido efeito benéfico sobre as características químicas, físicas e biológicas do solo, o que conseqüentemente, favorece a ocorrência e a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Contudo, deve-se levar em consideração a dinâmica de decomposição do adubo orgânico utilizado, de modo a permitir melhor sincronização na liberação de nutrientes com a demanda da cultura. O crescimento e o estado nutricional da planta hospedeira por alterar a alocação de fotossintatos para os FMA pode indiretamente, afetar a esporulação, a colonização micorrízica e a produção de glomalina.

Os FMA são importantes no estabelecimento das espécies vegetais que iniciam a revegetação das áreas, além de contribuírem para a manutenção da comunidade vegetal ao longo do processo de sucessão vegetal, através da produção de glomalina. A glomalina melhora a estrutura do solo, permitindo maior troca gasosa e maior infiltração de água, reforça a produtividade vegetal, reduz a erosão e aumenta a capacidade do solo de armazenar carbono. Ao longo do processo de sucessão, as plantas também exercem influência sobre a comunidade fúngica, uma vez que estas apresentam diferente grau compatibilidade fungo-planta.

A presença de espécies arbóreas nos sistemas de uso da terra, principalmente leguminosas, favorece a comunidade de FMA, uma vez que estas espécies são produtoras de grandes quantidades de flavonóides que estimulam a produção de esporos e a colonização micorrízica, além de conferir mais estabilidade e resiliência aos sistemas produtivos. Alterações na riqueza de espécies de FMA ocorrem durante o estabelecimento da comunidade vegetal, pois as plantas apresentam diferentes graus de dependência micorrízica, além disso, as espécies fúngicas não são igualmente eficientes em beneficiar as plantas hospedeiras.

Além do extrator utilizado e do pH e temperatura da solução extratora, a quantidade de glomalina extraída depende do tempo e das condições de armazenamento das amostras de solo após coleta em campo, pois ocorre a decomposição da proteína por microrganismos que a utilizam como substrato para seu crescimento e multiplicação.

De modo geral, foi registrada baixa densidade de esporos nos agroecossistemas avaliados (< 7 esporos g de solo⁻¹), o que também tem sido relatado em outros estudos realizados em regiões semi-áridas no Brasil e no mundo. Em todos os agroecossistemas, verificou-se que as plantas apresentaram colonização micorrízica. Os FMA são fundamentais para o estabelecimento e manutenção das espécies vegetais em condições de semi-árido, onde

as plantas encontram-se submetidas a diversos tipos de estresse, como altas temperaturas e baixa disponibilidade de água e nutrientes, provocados pela precipitação pluviométrica irregular e pela baixa fertilidade do solo nestas regiões.

As áreas em estádios sucessionais apresentaram maiores teores de glomalina (1,21 a 1,66 mg g solo⁻¹) que as áreas com os sistemas de adubação (0,06 a 1,49 mg g de solo⁻¹) e com diferentes sistemas de uso da terra (0,69 a 1,27 mg g solo⁻¹). Diversos estudos têm relatado que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo, sendo menor em solos agrícolas do que em solos nativos ou não cultivados.

Das espécies registradas nos agroecossistemas estudados, 17 também foram identificadas em um levantamento realizado em outros agroecossistemas na região semi-árida brasileira (Maia et al., 2006), sendo elas: *A. elegans*, *A. excavata*, *A. longula*, *A. mellea*, *A. morrowiae*, *A. scrobiculata*, *A. spinosa*, *E. infrequens*, *S. cerradensis*, *S. aurigloba*, *K. colombiana*, *G. margarita*, *G. constrictum*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. macrocarpum*, *G. mosseae*. Contudo, neste levantamento não haviam sido registradas as espécies *G. aggregatum*, *G. ambisporum*, *G. claroideum*, *G. eburneum*, *A. appendicula*, *R. novaum* e *R. fulgida*.