

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA APLICADA**

**DISSERTAÇÃO**

**Fungos Micorrízicos Arbusculares em ecossistema  
de Mata Seca no Norte de Minas Gerais**

**Vera Lúcia da Silva Santos**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E  
BIOTECNOLOGIA APLICADA**

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM ECOSSISTEMA DE  
MATA SECA NO NORTE DE MINAS GERAIS**

**VERA LÚCIA DA SILVA SANTOS**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Ricardo Luis Louro Berbara**

*e Co-orientação da Professora*  
**Eliane Maria Ribeiro da Silva**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, Área de Concentração em Biotecnologia Aplicada.

Seropédica, RJ  
Março de 2010

631.46098151 Santos, Vera Lúcia da Silva  
S237f Fungos micorrízicos arbusculares em  
T ecossistema de Mata seca no Norte de Minas  
Gerais / Vera Lúcia da Silva Santos -  
2010.  
68f.:il.,grfs.,tab.

Orientador: Ricardo Luis Louro Berbara.  
Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa  
de Pós-Graduação em Fitossanidade e  
Biotecnologia Aplicada.

Bibliografia: f. 51-68.

1. Fungos do solo - Minas Gerais -  
Teses. 2. Fungos Micorrízicos - Minas  
Gerais - Teses. 3. Biodiversidade - Minas  
Gerais - Teses. 4. Ecossistema - Minas  
Gerais - Teses. I. Berbara, Ricardo Luis  
Louro. II. Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação  
em Fitossanidade e Biotecnologia  
Aplicada. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE BIOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOSSANIDADE E BIOTECNOLOGIA  
APLICADA

VERA LÚCIA DA SILVA SANTOS

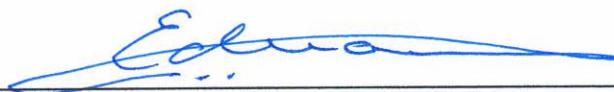
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada, área de Concentração em Biotecnologia Aplicada.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08 / 03 / 2010.



---

Ricardo Luis Louro Berbara. Ph.D UFRRJ  
(Orientador)



---

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ



---

Salomão Lima Guimarães Dr. UFMT

## **OFEREÇO**

Ao povo do sertão brasileiro.

Em especial a tia Argimira, (*in memorian*) mulher forte, que dedicou sua vida a família lavrando a terra seca sempre com muita fé em Deus!

Minha inspiração! Todo meu amor e admiração.

### **Catingueira**

*Catingueira, catingueira  
diz o segredo que existe  
que somente a catingueira  
enfeita a paisagem triste  
Catingueira se és feliz  
não zombes nunca  
deste teu contraste  
segura tua raiz e pede a Deus  
que ela nunca se gaste  
Tão resseca a imburana  
a terra quente e rachada  
o marmeleiro se enrama  
mas não agüenta a queimada  
sentindo como quem ama  
a terra quente pede internada  
quanto mais seca a ribeira  
a catingueira fica enfolharada*

*Catingueira se um vintém  
puder se tornar um milhão  
pede a Deus por quem não tem  
prá cair chuva no chão  
pois somente a catingueira  
enfeita a seca lá no meu sertão  
sertanejo não quer nada  
vê na internada a maior benção*

### **Xangai**

minha inesquecível  
avó Vitória Santos  
“mãe Vitinha” (*in memorian*).

### **Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

A *DEUS*, por estar presente em todos os momentos de minha vida, guiando-me e conduzindo para a tranquilidade mesmo nos momentos de dificuldade;

Este trabalho é resultado da certeza da companhia de Deus que me presenteou com uma corrente de energia positiva formada por pessoas que eu e muitas delas, nem ao menos, sabíamos de sua enorme contribuição. Em um elo de força positiva, incentivo e apoio por acreditarem, algumas vezes mais que eu, que é possível fazer diferença no equilíbrio do planeta, mesmo sendo apenas... uma borboleta! Sem a pretensão em mencionar todos, não me furtarei em destacar meus sinceros agradecimentos:

Ao "meu amor" Eduardo Belmonte, pela companhia, cumplicidade, constante incentivo, ajuda fiel e dedicação em todos os momentos;

A minha mãe Judite da Silva Santos pelo exemplo de força e coragem, carinho, aconchego e apoio;

Ao meu pai Silvanor Carvalho dos Santos e tia Rosa pelas preces, carinho, compreender a ausência e silenciosamente apoiar minhas escolhas;

A família Belmonte representada pelo sr. Eloi Diogo e sra. Márcia pela amizade, incentivo;

Aos meus familiares, em especial as minhas irmãs Vilma Santos e Lucimere A. Santos, pelo incentivo, colo, carinho e amizade;

A tia Cira (Adecília) e tio Zeca (José Santos) pelo exemplo de união, carinho e confiança;

Aos membros da banca, Dr. Eduardo Lima, Dr. Salomão Lima Guimarães por se disponibilizarem a corrigir e avaliar este trabalho. Obrigada pela valorosa contribuição.

Ao meu Orientador Dr. Ricardo Luis Louro Berbara, pela imensurável contribuição para realização deste trabalho, pela amizade, incentivo, dedicação, paciência e compreensão;

À Dra. Eliane Maria Ribeiro da Silva da Embrapa Agrobiologia pela disposição em me aceitar como orientada, confiança, incentivo, apoio, sugestões, discussões e boa vontade e principalmente pela grande amizade e valiosa orientação;

E estendendo os agradecimentos aos membros desta instituição, (Embrapa Agrobiologia) agradeço:

Ao pesquisador Dr. Orivaldo José Saggin-Júnior pelas sugestões, incentivo, apoio e amizade;

Ao técnico Itamar Garcia Inácio, profissional exemplar do laboratório de micorrizas, pelos ensinamentos e imprescindível ajuda na taxonomia e fotografias dos FMA, pela amizade, alegria, disponibilidade, boa vontade e pela calma transmitida, nos meus momentos de desespero;

As amigas e amigos do laboratório de micorrizas Cristiane, Anita, Rosana, Divino, Thiago, Dyego, Guilherme Augusto e Candido pela cumplicidade nos trabalhos e pela convivência carinhosa, respeitosa e de ajuda mútua e em especial a Cristiane Silva por toda a colaboração para esta dissertação, amizade, carinho e pelos momentos de descontração;

A pesquisadora Dra. Janaína Ribeiro Costa Rouws pela imprescindível ajuda na estatística e por sua amizade e dedicação;

A galera do laboratório de gramíneas e de Ecologia, Joilson Ferreira, Gabriela Alves, Anaelise, Marinete Flores, Daniele Sabino, Geraldo Baeta, Wilson Fonseca e Antônio Lúcio Souza pela amizade, apoio e descontração;

Aos Pesquisadores e pesquisadoras Zé Espindola, Zé Guilherme Guerra, Marta Ricci, Jean Luiz Araujo, Vera Baldani, Dejair Lopes de Almeida, Adriana Aquino, Mariella Uzêda e Rosangela Straliozzo pela oportunidade, convívio, confiança e amizade;

Aos amigos dos diferentes laboratórios e setores: Khalil, Rafael, Thaís; Cláudio P. Ferreira e a galera da casa de vegetação; Ernani Meirelles e a turma da fazendinha e terraço; Wallace da Mota e a galera da portaria da Embrapa Agrobiologia; Selmo Souza e a galera do lab. solo; Marildo de Azevedo da Sala de lavagem; Jonatas Pinto e o pessoal da limpeza; Neyde Meirelles e a galera do transporte; Jonatas, Marcos e toda a turma do RH pelo convívio, atenção e amizade;

Ao pesquisador Dr. Francisco Adriano de Souza, pelo incentivo inicial para a realização deste trabalho;

As meninas da Educação Física Mariana Brás e Flávia Aguiar pela ginástica laboral nas manhãs da Embrapa Agrobiologia acordando meu corpo e me preparando para uma nova jornada!

Aos amigos da Área de Comunicação e Negócio - ACN da Embrapa Agrobiologia Valéria Luiza Pereira, Luiz Nicolau e Ernani Jardim pela atenção, colaboração e amizade.

Aos bibliotecários da Embrapa Agrobiologia Carmelita do Espírito Santos, pela atenção e correção das referências bibliográficas e Alessandre Lemos e Jorge A. T. Motônio pela atenção e amizade.

À pesquisadora da Pesagro-Rio Dra. Maria do Carmo de Araújo Fernandes, minha primeira, amada e inesquecível orientadora e por sua amizade, incentivo e confiança;

Aos professores da UFRuralRJ Joecildo Francisco Rocha (IB), Marcos Gervasio Pereira, Antônio Carlos Abbud, Eduardo Lima, (IA) Raul de Lucena (Fazendinha 47), Otávio Lã, e Jairo Pinheiro da Silva (PQ).

Aos meus grandes amigos Joel Rocha, Eduardo Linder, Mariana Amaral, Claudinho Amaral, Bruno Amaral, Geovani Guimarães, Salomão Guimarães, Vandro Gama, Joilson Ferreira, Michael Barbosa, Daniele Sabino, Aline Mansur e família, Otávio Lan, Jairo Silva, Evelyn Liberato, Patricki, Erica Moço, Fábio Reis, Miguel Seabra e ao povo do Campinho da Independência pela amizade e pelos maravilhosos momentos de descontração;

Aos amigos do PGFBA, Gislanne Brito, Rodrigo Alonso, coordenadora Elen Lima, Gabriel, Brenda, Ivanete, Elaine, Jurema e aos professores Racca, Eurípedes, Paulo e Luiz pela amizade, convivência, cumplicidade e ensinamentos;

Aos amigos Ricardo Dart da Embrapa Solo, professor Henrique Valério da Unimontes, MG e em especial a Dorin, mateiro e funcionário do PEMS que colaborou alegremente com a realização das coletas de solo no parque;

As crianças do bairro Peixoto em Seropédica, RJ, especialmente Luciana, Bianca e Michael pela alegria de viver e brincar, diversão, amizade e carinho;

Ao povo de *Jeje mahi* através do *doté* Fred e *doné* Janice pelas orientações, *axé* no trato, na ligação, dedicação e por me aproximar desta energia espiritual que tanto me acolhe. *Kolofé*;

A Capoeira Angola através dos Mestres/grupo: Valmir Damasceno e Cobra Mansa - FICA, Jogo de Dentro - Semente do Jogo de Angola, Cláudio - Angoleiros do Sertão, Janja, Paulinha e Poloca - Nzinga, Russo - Cosmos e Manuel - Ipiranga de Pastinha agradeço o *axé* dedicado a capoeiragem que tanto me ensina a viver...;

Aos cantadores do sertão Xangai, Elomar, Jatobá e Hélio Contreiras por transmitir poeticamente a vida no sertão em toda sua plenitude e a Paulo TA por divulgar toda a beleza destes maravilhosos cantadores;

Ao IEF de Januária pela permissão concedida para coleta das amostras de solo no Parque Estadual Mata Seca;

Ao povo brasileiro, por financiar minha bolsa de estudos através do órgão de fomento Capes;

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Embrapa Agrobiologia pela oportunidade e apoio.

**OBRIGADA A TODOS!**

## RESUMO

SANTOS, Vera Lúcia da Silva. **Fungos micorrízicos arbusculares em ecossistema de Mata Seca no norte de Minas Gerais**. 2010. 68 p. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada). Instituto de Biologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2010.

Esta pesquisa foi realizada no Parque Estadual Mata Seca (PEMS) no Município de Manga (MG), e teve como objetivo avaliar a ocorrência e a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), bem como a proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) e a biomassa de micélio externo em ecossistemas de Mata Seca no Norte de Minas Gerais. Para coleta das amostras de solo, em cada área foram delimitadas parcelas de 1000 m<sup>2</sup> com três repetições para cada área estudada. As coletadas foram feitas no mês de fevereiro de 2008, em áreas com diferentes estágios de sucessão, sendo: área inicial com oito anos em processo de regeneração, intermediária com 17 anos sem intervenção antrópica e tardia sem registro de intervenção antrópica e uma área de pasto com cinco anos sem interferência humana, tomada por capim colônia (*Panicum maximum*) no PEMS. A amostragem foi inteiramente ao acaso, tomando-se nove amostras compostas formadas por 27 amostras simples que foram retiradas na profundidade de 0 – 10 cm em cada área estudada para avaliação da diversidade de FMA, seis amostras compostas formadas a partir de 18 amostras simples de cada área estudada para extração e quantificação da glomalina e, três amostras compostas a partir de nove amostras simples de cada área para micélio externo. Foram recuperadas 19 espécies de FMA, pertencentes aos gêneros: *Acaulospora* (7), *Glomus* (7), *Scutellospora* (3), *Gigaspora* (1) e *Archaeospora* (1). O número de esporos variou de 37 a 640/50 cm<sup>3</sup> de solo. A biomassa de micélio externo embora não tenha apresentado diferença estatística entre as quatro áreas estudadas, pode-se notar uma tendência crescente da área de pasto em direção à área de sucessão tardia. Em relação à PSRG, a área de pasto apresentou maior quantidade de glomalina facilmente extraível, enquanto que a glomalina total foi estatisticamente igual entre as quatro áreas. A área com sucessão inicial foi a que apresentou maior número de espécies (12). Foram encontradas em todas as áreas *A. scrobiculata*, *G. macrocarpum* e *G. tortuosum*. O gênero *Glomus* apresentou maior percentual de ocorrência em todas as áreas estudadas. A área de sucessão intermediária e a tardia sem interferência antrópica, apresentaram menores densidades e quantidade de esporos de FMA, em comparação às demais áreas estudadas, indicando serem sistemas mais estáveis que as demais áreas.

**Palavras chave:** Glomeromycota, diversidade e ecossistema tropical.

## ABSTRACT

SANTOS, Vera Lúcia da Silva. Arbuscular mycorrhizal fungi in Dry Forests ecosystems in north of Minas Gerais. 2010. 68 p. Dissertation (MSc in Plant Biotechnology and Applied). Institute of Biology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2010.

This study was conducted in State Park Dry forest in the city of Manga in the North of Minas Gerais, Brazil and aimed to evaluate the occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and the protein related to soil glomalin and biomass of external mycelium in Dry Forest ecosystems in the North of Minas Gerais. To collect the soil samples in each area were delimited plots of 1000 m<sup>2</sup> with three replications for each study area. The bags were made in February 2008 in areas with different stages of succession is: area of initial eight years in the process of regeneration, intermediate with 17 years without human intervention and late registration without human intervention and an area of pasture five years without human interference, making the grass (*Panicum maximum*) in State Park Dry forest. Sampling was at random, taking nine composite samples consist of 27 single samples were taken at a depth of 0 - 10 cm in each study area to assess the diversity of AMF, six composite samples formed from 18 single samples of each study area for extraction and quantification of glomalin and three composite samples from nine single samples of each area of external mycelium. Were recovered 19 AMF species, belonging to the genera: *Acaulospora* (7), *Glomus* (7), *Scutellospora* (3), *Gigaspora* (1) and *Archaeospora* (1). The number of spores ranged from 37 to 640/50 cm<sup>3</sup> of soil. The biomass of external mycelium is not statistically different between the four areas studied, but there is a growing trend in the pasture area toward the area of late succession. For the protein related to soil glomalin, the area of pasture had a higher amount of easily extractable glomalin, while the total glomalin was statistically equal between the four areas. The area with the initial sequence showed the greatest number of species (12). Were found in all areas *A. scrobiculata*, *G. macrocarpum* and *G. tortuosum*. The genus *Glomus* showed a higher percentage of occurrence in all areas studied. The area of intermediate succession, and the late without anthropogenic interference had lower densities and number of spores compared to the other areas studied indicating systems are more stable than other areas.

Keywords: Glomeromycota, diversity and the tropical ecosystem.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação filogenética atual dos Glomeromycota segundo Ordens, Famílias, Gêneros e número de espécies descritas por gênero.....	11
Tabela 2. Pontos georeferenciados em sistema de coordenadas Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) métrico e cartesiano dos locais de coletas das quatro áreas estudadas.....	28
Tabela 3. Propriedades químicas do solo das quatro áreas estudadas: pasto (1), inicial (2), intermediária (3) e tardia (4) na profundidade de 0-10 cm.....	33
Tabela 4. Propriedades químicas do solo das quatro áreas estudadas (pasto, inicial, intermediária e tardia) na profundidade de 0 - 10 cm.....	33
Tabela 5. Granulometria das áreas de pasto, inicial, intermediária e tardia em Mata Seca, no Norte de Minas Gerais na profundidade 0 -10 cm .....	34
Tabela 6. Frequência relativa de ocorrência de espécies de FMA encontradas nas áreas de pasto, e nas três áreas de sucessão (inicial, intermediária e tardia) em Mata Seca no Norte de Minas Gerais na profundidade 0-10 cm.....	37
Tabela 7. Quantidade de espécies de FMA que ocorreram na área de pasto e sucessão inicial, intermediária e tardia por família e pH.....	40
Tabela 8. Densidade relativa (DR) das espécies de FMA encontradas em Mata Seca em área de pasto e sucessão inicial, intermediária e tardia no Parque Estadual Mata Seca, Município de Manga, Norte de Minas Gerais.....	41
Tabela 9. Índice de diversidade (Shannon-Wiener $H'$ ), e equabilidade (Pielou $J'$ ) e riqueza de espécies de FMA, das quatro áreas estudadas.....	42
Tabela 10. Biomassa de micélio externo (ME), carbono orgânico e glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) das áreas estudadas.....	44
Tabela 11. Porcentagem de contribuição da Glomalina Facilmente Extraível (GFE) e da Glomalina Total (GT) para o conteúdo de matéria orgânica do solo das quatro áreas estudadas em Mata Seca no Município de Manga, MG.....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa dos Biomas brasileiros.....	3
Figura 2. Vista parcial da Caatinga arbórea aberta – Furado no Parque Estadual Mata Seca, destacando a coroa-de-frade ( <i>Melocactus azureus</i> ) sobre o afloramento rochoso.....	5
Figura 3. Vista parcial da deciduidade da Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Mata Seca.....	8
Figura 4. Esquema de fragmento de raiz de planta colonizada pelo FMA.....	13
Figura 5. Localização do Parque Estadual Mata Seca – PEMS.....	24
Figura 6. Médias de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação (mm) de janeiro a dezembro de 2008 do Município de Manga, MG.....	26
Figura 7. Amostras de solo coletadas nas quatro áreas de estudos do Parque Estadual Mata Seca.....	28
Figura 8. Número médio de esporos de FMA. $50\text{ cm}^{-3}$ de solo na área de pasto e nas diferentes sucessões vegetais.....	34
Figura 9. Percentual de espécies relacionadas aos gêneros de FMA, identificados nas amostras de solo da área de pasto e das três diferentes sucessões vegetais.....	35
Figura 10. Abundância de esporos apresentados por gêneros de FMA, identificados nas amostras de solo da área de pasto e das três diferentes sucessões vegetais.....	36
Figura 11. (a). Quantidade de esporos por gêneros de FMA presentes nas áreas de estudos (pasto, inicial, intermediária e tardia); (b). Destaque aos gêneros: <i>Acaulospora</i> , <i>Gigaspora</i> e <i>Scutellospora</i> (excluindo <i>Glomus</i> ).....	36
Figura 12. Fotomicrografia de esporos de FMA das espécies mais e menos abundantes presentes nas amostras de solo coletadas nas áreas de estudos (pasto, inicial, intermediária e tardia), em Mata Seca no Norte de Minas Gerais.....	39
Figura 13. Micélio externo em amostras de solo da área de pasto e das diferentes secessões vegetais.....	43
Figura 14. Valores médios de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) em amostras de solo de área de pasto e de sucessões vegetais (inicial, intermediária e tardia) em Mata Seca no Município de Manga, Norte de MG,.....	45

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Caatinga - Bioma único no mundo.....	3
2.2 A Floresta Estacional Decidual - Mata Seca .....	7
2.3 Os Fungos Micorrízicos Arbusculares - FMA .....	9
2.3.1. Micélio extra-radicular .....	14
2.3.2. Glomalina: a glicoproteína dos FMA .....	15
2.4 Distribuição dos fungos micorrízicos arbusculares - FMA.....	17
2.4.1. Diversidade de FMA nos ecossistemas .....	17
2.5 Fatores que afetam a formação micorrízica.....	20
2.5.1. Dependência micorrízica da planta hospedeira .....	20
2.5.2. Influência do pH na distribuição de FMA .....	21
2.5.3. Importância dos FMA na recuperação dos solos degradados .....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 Descrição da área em estudo.....	24
3.1.1. Localização.....	24
3.1.2. Histórico da área.....	25
3.1.3. Clima e solo.....	26
3.2 Avaliação da Fertilidade do Solo.....	27
3.2.1. Amostragem .....	27
3.3 Avaliação da ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares, micélio externo e glomalina.....	28
3.3.1. Amostragem .....	28
3.3.2. Extração dos esporos e preparo das lâminas.....	29
3.3.3. Identificação das espécies de FMA .....	29
3.3.4. Quantificação do micélio externo (ME) .....	29
3.3.5. Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG).....	30
3.3.6. Análise Estatística .....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
4.1 Avaliação das Características químicas e físicas do solo.....	32
4.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares - FMA .....	34
4.2.1. Número de esporos e de espécies de FMA.....	34
4.2.2. Diversidade de espécies de FMA .....	42
4.2.3. Micélio externo.....	43
4.2.4. Proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG).....	45
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## INTRODUÇÃO

A Caatinga é um bioma único, exclusivamente brasileiro, reconhecido pela riqueza de espécies animais e vegetais caracterizados por um complexo de vegetação decídua e xerófila. É o principal ecossistema existente no nordeste do Brasil e o mais representativo na região, com 734.478 km<sup>2</sup>, correspondendo a 74,3% da região e englobam partes dos territórios pertencentes aos estados Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais.

Cerca de metade da paisagem de Caatinga já foi deteriorada pela ação do homem. De 15% a 20% do bioma Caatinga está em alto grau de desertificação, ocasionado principalmente, pelo desmatamento e uso inadequado dos recursos naturais (DRUMOND et al., 2000). É, provavelmente, o bioma brasileiro mais ameaçado e já transformado pela ação humana.

Para Cavalcanti (2001), apesar do grande interesse global em se conhecer os ambientes florestais, ainda são escassas as informações em áreas de domínio das Florestas Estacionais Deciduais, principalmente no que se refere à ecologia destes ambientes.

No Brasil, o principal representante da flora decídua é o bioma Caatinga a nordeste do país, porém é possível encontrar encaves em geral sobre afloramento de calcário nas diversas fisionomias (RIZZINI, 1997). Embora muito diversificadas e amplamente distribuídas em várias regiões do país, pouco se conhece sobre as Florestas Deciduais (Matas Secas).

No Norte de Minas Gerais, a Floresta Estacional Decidual e Caatinga Arbórea são duas fitofisionomias que se distinguem no tocante à fisionomia e a florística. A Floresta Decídua apresenta grande porte, com árvores de altura superior a 15 metros e um dossel mais fechado, enquanto que a Caatinga Arbórea não passa de 10 metros, podendo ser densa ou aberta. No Parque Estadual Mata Seca (PEMS), a diferenciação entre essas duas fitofisionomias é muito clara, pois são bastante perceptíveis as diferenças fisionômicas existentes entre a Floresta Decídua de alto porte e a Caatinga Arbórea encontrada na região dos Furados.

Quase todos os ecossistemas estão sujeitos a perturbações periódicas por eventos naturais, contudo, tendem a se recuperar naturalmente, o que permite aos ecossistemas adaptação às variações ambientais. Nos sistemas saudáveis, estas perturbações são temporárias, e sua recuperação é relativamente rápida. Já em ecossistemas em estresse antropogênico, é complexa a recuperação, principalmente, pela perda da biodiversidade, diminuição da resiliência e a redução da produção primária (MENDES-FILHO, 2004).

As alterações na vegetação provenientes das atividades que degradam o ambiente podem promover modificações na capacidade infectiva dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), especialmente daqueles que colonizam novas raízes a partir de hifas vegetativas.

Os FMA são simbioses de raízes que estão presentes em todos os solos (READ *et al.*, 1976; JOHNSON *et al.*, 2002). São considerados como organismos de grande importância para os solos, colonizando a maioria das espécies de plantas, em vários ecossistemas (SMITH e READ, 1997). Estes fungos são comuns na biota do solo e ocorrem de forma generalizada nos ecossistemas tropicais, onde são de particular importância e ocorrem com grande frequência e estão bem distribuídos (SMITH e READ, 1997) colonizando cerca de 90% das plantas vasculares, incluindo espécies de interesse florestal tropical, agrônomo e pastoril (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002, 2006).

A simbiose é fundamental para os fungos micorrízicos, uma vez que os mesmos dependem do hospedeiro metabolicamente ativo para completar seu ciclo de vida. Para as plantas, existe uma ampla faixa de resposta simbiótica (BERBARA *et al.*, 2006), sendo que as espécies vegetais apresentam diferentes graus de dependência micorrízica (SIQUEIRA e SAGGIN JÚNIOR, 2001).

Os FMA representam uma promissora ferramenta para ambientes em processo de revegetação, contribuindo para o sucesso no estabelecimento das plantas. Estes fungos proporcionam maior capacidade de absorção de nutrientes, manutenção da diversidade vegetal, participação na ciclagem de nutrientes, estabilidade do solo e melhorando a capacidade das plantas micorrizadas em competir por recursos (JASPER, 1994). Mas, ainda pouco se conhece de seus benefícios para o funcionamento e estabilidade dos ecossistemas não perturbados e da essencialidade ou benefícios desta simbiose para o crescimento de espécies vegetais que compõem o ecossistema Caatinga.

Observações no padrão de sucessão de plantas em regiões semiáridas apontam que os FMA são ecologicamente importantes na composição e estabilidade das comunidades de plantas.

Alguns fatores são considerados chave no estabelecimento dos FMA e na geração de benefícios, proporcionados pela simbiose. A perturbação do solo pode causar impactos na micorrização, quanto às mudanças das condições do solo, da natureza dos propágulos do fungo e da cobertura vegetal presente (BRUNDRETT *et al.*, 1996). Assim, a infectividade de FMA em solos de vários ecossistemas pode ser diminuída pela perturbação do solo (JASPER *et al.*, 1994).

A riqueza em biodiversidade, e o representativo grau de endemismo da caatinga, ainda precisam ser mais explorados no intuito de suprir a falta de informação sobre este bioma e principalmente em desenvolver estratégias de manejo que venham a contribuir para a manutenção e conservação deste importante ecossistema. Ainda hoje, a economia agropecuária no nordeste do Brasil está fortemente sustentada na exploração dos recursos naturais, principalmente no que se refere ao extrativismo da cobertura vegetal, sem qualquer tipo de preocupação conservacionista (SAMPAIO e SALCEDO, 1997). Apesar de reconhecidamente importantes na maioria dos ecossistemas terrestres, dados ecológicos e biológicos básicos sobre os FMA são escassos com poucos trabalhos sobre a sua ocorrência em ecossistemas naturais no Brasil.

Assim, devido à importância em estudar os FMA em Mata Seca, este trabalho teve como objetivo identificar a diversidade e quantificar a ocorrência de FMA em ecossistema de Mata Seca no Norte de Minas Gerais em diferentes estágios de sucessão vegetal, visando identificar espécies de FMA encontradas nas áreas estudadas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Caatinga – Bioma único no mundo

O semiárido brasileiro abrange aproximadamente 1.150.662 km<sup>2</sup>, correspondendo a 74,3% da Região Nordeste, sendo a Caatinga, bioma exclusivo do Brasil, o mais representativo na região, com 734.478 km<sup>2</sup> (GOTO, 2007), sob as latitudes subequatoriais compreendidas entre 2° 45' e 17° 21' Latitude Sul e englobam partes dos territórios pertencentes aos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais (ANDRADE *et al.*, 2005) (Figura 1.).

A vegetação do bioma é extremamente diversificada, incluindo, além das caatingas, vários ambientes associados (ALVES, 2007). A Caatinga, ecorregião semiárida única no mundo, é provavelmente o bioma brasileiro mais ameaçado e já transformado pela ação humana. Cerca de metade de sua paisagem já foi deteriorada pela ação do homem. De 15% a 20% do bioma Caatinga está em alto grau de degradação. Em algumas regiões também foi observado o início do processo de desertificação (DRUMOND *et al.*, 2000).



**Figura 1.** Mapa dos Biomas brasileiros.

Além de ser exclusivamente brasileira, a Caatinga cobre uma porção significativa do território nacional: 11.67% se contarmos com as áreas de transição para outros biomas, e constitui o chamado Polígono das Secas. Nesta região prevalece o clima semi-árido, caracterizado pelo elevado potencial de evapotranspiração ( $2.000 \text{ mm.ano}^{-1}$ ), precipitação média anual de 700 mm (mínima de 300 e máxima de 1.000 mm) concentradas entre três a cinco meses do ano e temperatura média anual de 23 a 27 °C (MENEZES e SAMPAIO, 2000).

Caatinga quer dizer Mata Branca. A origem do termo vem do idioma Tupi-Guarani, CAA= mata e TINGA= branca, mata branca, o que caracteriza a paisagem no período de estiagem quando a vegetação perde as folhas prevalecendo um aspecto seco, sem vida (ALVES, 2007). Caatinga é também um termo genérico para designar um complexo de vegetação decídua e xerófila constituída de uma vegetação lenhosa, em presença de cactáceas, bromeliáceas e cipós.

Segundo Martius (1996), a primeira definição científica da caatinga é datada de 1840: “*Sylva aestu aphylla*”. A vegetação lenhosa (*sylva*) e a perda total das folhas (*aphylla*) durante a estação seca (*aestu*) são destacadas como seu principal traço. O tipo de formação vegetal da caatinga tem características bem definidas: árvores e arbustos que, em geral, perdem as folhas durante a estação seca (espécies caducifólias), espécies adaptadas a condições severas de estresse hídrico (xerófilas).

A vegetação caracterizada pela formação de florestas secas composta por formações xerófilas apresenta três estratos: porte arbóreo (8 a 18 metros), arbustivo (2 a 6 metros) e herbáceo (abaixo de 3 metros) com ampla variação de fisionomia e flora e elevada diversidade de espécies, predominando representantes de *Caesalpinaceae*, *Mimosaceae*, *Fabaceae*, *Euphorbiaceae* e *Cactaceae* e muito diversificadas por razões climáticas, edáficas, topográficas, e antrópicas (DRUMOND *et al.*, 2000).

Algumas espécies não perdem as folhas na época seca, como exemplo o juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), uma das plantas mais típicas desse ecossistema. Cercando estas formações vegetais dominantes (encraves), ocorrem também as florestas dos relevos (florestas perenifólias e sub-perenifólias dos brejos de altitude e encostas expostas aos fluxos úmidos de ar e de florestas semidecíduas) e as florestas ripárias e os cerrados (ALVES *et al.*, 2008).

Os afloramentos rochosos, no planalto, ficam sujeitos à ação do vento por serem mais expostos e de outros fatores, que possibilitam a variação de temperatura local. Sendo temperaturas muito baixas durante as noites mais frias do ano, enquanto que durante o dia esta temperatura pode ser bastante elevada nos dias ensolarados do verão. Esta grande variação local de temperatura e umidade é um dos principais eventos na determinação da sua composição.

Os afloramentos de rochas calcárias de coloração acinzentada abrigam algumas espécies endêmicas e raras, como “coroa-de-frade” *Melocactus azureu* (Figura 2).

Os solos gerados a partir da decomposição do arenito formam depósitos arenosos ou pedregosos rasos, que se tornam mais profundos onde a topografia permite e afloramentos rochosos é uma característica comum das áreas mais altas. Este ambiente, associado a solo pouco profundo forma as condições de habitação para os cactos, e espécies que crescem nas rochas, em fissuras ou depressões da rocha, onde a acumulação de detritos como areia, pedregulhos e outros, juntamente com o húmus gerado pela decomposição de restos vegetais, sustentam o sistema radicular destas espécies suculentas (BRANDÃO, 2000).



Foto: Veralu Santos, Fev. 2008



Foto: Veralu Santos, Fev. 2008

**Figura 2.** Vista parcial da Caatinga arborea aberta – Furado no Parque Estadual Mata Seca, destacando a coroa-de-frade (*Melocactus azureus*) sobre o afloramento rochoso.

A Caatinga constitui-se na expressão sintética dos elementos físicos e climáticos, uma vegetação singular cujos elementos florísticos expressam uma morfologia, anatomia e mecanismo fisiológico convenientes para resistir ao ambiente xérico. Traduzindo o xerofilismo, expressa uma condição de sobrevivência ligada a um ambiente seco, ecologicamente com deficiência hídrica, cuja água disponível às plantas procede unicamente do curto período da estação chuvosa (SOUTO, 2006).

Em virtude das condições climáticas, a vegetação endêmica é ramificada com aspecto arbustivo, exibindo pequenas folhas ou modificada em espinhos, de modo a evitar a evapotranspiração (perda de água pela epiderme), ocorrendo a perda de folhas na época seca (caducifolia). É uma mistura de estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo de pequeno porte, tortuosa, espinhenta e muito resistente às secas. A vegetação é distribuída de forma irregular, contrastando áreas que se assemelham às florestas, com áreas com solo quase descoberto. Esta diversificação de espécies vegetais pode ser explicada parcialmente por este comportamento irregular de espécies vegetais, muita das quais endêmicas ao bioma (ALVES, 2007). Apresenta uma grande biodiversidade com espécies de portes e arranjos fitossociológicos variados que o torna bastante complexo, onde pouco se conhece sobre a sua dinâmica. Nas Caatingas também se encontram algumas espécies arbóreas e arbustivas de folhas perenes e as plantas suculentas aparecem em grande número. As espécies herbáceas anuais desaparecem no período seco.

A vegetação é escassa em gramíneas, porém, abundante em leguminosas. Muitas espécies são forrageiras, outras são frutíferas e algumas são de importância industrial, principalmente, como fornecedoras de matérias-primas industriais, como cera, borracha, tanino, resinas, cosméticos, fármacos, fibras e outros produtos (MENDES, 1992). A velocidade com que as matas remanescentes da Caatinga estão sendo exploradas, sem nenhum plano de manejo, está pondo em risco a existência de várias espécies arbóreas de valor econômico e ecológico. Estas explorações sejam para retirada de madeira para lenha, carvão, moirões e serrarias, sejam para a ampliação de áreas de cultivo ou pastagens, provocam sérios danos ambientais, desencadeando na maioria das vezes processos irreversíveis de degradação e o empobrecimento desta vegetação, ainda pouco estudada e cujo potencial genético pouco se conhece.

A caatinga é hoje um bioma considerado com grande perda de habitat sendo um dos menos protegidos e mais vulneráveis (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002; SAMPAIO e ARAÚJO, 2005). A pouca atenção dada ao bioma Caatinga se estende também à fauna. Segundo Vasconcelos-Sobrinho (1971), a fragilidade ambiental do bioma faria com que a fauna se encontrasse com populações reduzidas e até mesmo com alguns *táxons* extintos regionalmente, devido não apenas às especificidades ambientais, mas principalmente a pressões antrópicas históricas, acima da capacidade de suporte de uma dada área do bioma.

A caatinga encontra-se hoje em acentuado processo de desertificação, ocasionado, principalmente, pelo desmatamento e uso inadequado dos recursos naturais (DRUMOND *et al.*, 2000). A conversão dessas áreas para cultivo ou pastagem é bastante intensa na região semiárida. A desertificação resulta na redução de produção vegetal, acarretando mudanças nas interações que ocorrem no solo, com a conseqüente e muitas vezes irreversível perda da biodiversidade (SKUJINS e ALLEN, 1986).

Nessa região, o desenvolvimento vegetal é normalmente limitado pela incerteza e irregularidade das chuvas, o que resulta em longos períodos com ausência parcial ou total de cobertura vegetal. Isso ocorre principalmente nas áreas de agricultura de subsistência (roçado), onde os restos culturais são utilizados como forragem; também ocorre nas áreas de pastagens, por causa do sobrepastejo (MENEZES e SAMPAIO, 2000).

Alguns autores afirmam que todas as formas da caatinga atual são oriundas da degradação antrópica, onde o clímax seria a floresta seca. Outros, sem negar o papel das ações humanas diretas e indiretas, consideram as florestas secas como formações clímaceas, sendo estas mesoclimáticas e/ou edáficas. Essas mudanças no uso do solo provocaram perdas de carbono, nitrogênio (até 50 %) e conversão de fósforo orgânico em inorgânico (TIESSSEN *et al.*, 1992; FRAGA e SALCEDO, 2004), além de favorecer processos erosivos nas encostas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001; FRAGA e SALCEDO, 2004).

Nas regiões áridas e semiáridas a baixa fertilidade dos solos pode gerar elevada dependência das plantas pelos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que minimizam os estresses hídricos e a deficiência de nutrientes (TARAFDAR e PRAVEEN-KUMAR 1996), sendo importante, portanto, conhecer a diversidade de FMA nessas áreas. Como a camada superior do solo é o principal reservatório de esporos, em caso de erosão, estes são perdidos juntamente com o solo (DAY *et al.*, 1987).

Há inúmeros estudos referentes à diversidade de Glomeromycota em diversas regiões do mundo, porém poucos são os trabalhos sobre a ocorrência de FMA em ecossistemas naturais no Brasil, principalmente em regiões semiáridas. Segundo mencionado por Stürmer e Siqueira (2006), os estudos de levantamento estão concentrados especialmente na região Sudeste, tendo em vista a maior concentração de pesquisadores especializados em taxonomia nessa região. O número de trabalhos em ecossistemas naturais ainda é reduzido, mas há relatos referentes à Floresta Atlântica, Floresta de Araucária, Cerrado, Dunas e ambientes degradados. De acordo com a vegetação, Trufem (1996), menciona trabalhos na província amazônica, atlântica e cerrado, sem registro para a caatinga e os pampas. No Nordeste são encontrados poucos trabalhos, entre eles destaque para Maia e Trufem (1990); Melo *et al.* (1997), que relatam a diversidade de FMA em áreas cultivadas com plantas de interesse agrônômico, no Estado de Pernambuco.

As informações sobre a diversidade quanto à distribuição e a frequência de ocorrência de FMA nos solos tropicais ainda são escassas (SIEVERDING, 1991) e (MAIA e GIBERTONI, 2002), mas há indicações de que certas espécies desses fungos ocorram unicamente nessas regiões (SIEVERDING, 1991), e quanto ao número e tipo de propágulos de FMA sob vegetação de caatinga (SILVA *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2003) são bastante limitadas. Não há dados de campo sobre como esses propágulos são afetados pela substituição da caatinga para o uso agrícola ou pecuário do solo. Em geral, essas áreas apresentam baixos

teores de fósforo (P) (SALCEDO, 2004; MENEZES *et al.*, 2005), situação em que a atuação das micorrizas arbusculares é especialmente importante.

A Caatinga é o principal ecossistema existente no Nordeste do Brasil, onde ocorre um grande número de associações vegetais, fisionômicas e floristicamente diferentes (RODAL, 1992). Esta riqueza em biodiversidade, e o representativo grau de endemismo da caatinga, ainda precisam ser mais explorados no intuito de suprir a falta de informação sobre este bioma e principalmente em desenvolver estratégias de manejo que venham a contribuir para a manutenção e conservação deste importante ecossistema. Ainda hoje a economia agropecuária nordestina está fortemente sustentada na exploração dos recursos naturais, principalmente no que se refere ao extrativismo da cobertura vegetal, através do superpastejo de áreas nativas e da exploração agrícola sem qualquer tipo de preocupação conservacionista (SAMPAIO e SALCEDO, 1997).

## **2.2 A Floresta Estacional Decidual - Mata Seca**

Diversos estudos atestam a existência de Mata Seca, classificada como Floresta Estacional Decidual (Floresta Tropical Caducifólia), na Caatinga e na Mata Atlântica, além de outros biomas (IBGE, 1992; IBAMA, 1997; SCHARIOT e SEVILHA, 2005; CAATINGA, 2007). Para Sano e Almeida (1998), ela é uma fitofisionomia florestal que pode ser encontrada no Cerrado. Portanto, a Floresta Estacional Decidual ou Mata Seca está presente em, no mínimo, três biomas brasileiros. Estão associadas a diferentes regimes de estacionalidade, em volume de precipitação e temperatura, topografia e características físicas e químicas dos solos sendo, portanto encontradas em diversos Estados do território nacional (SCHARIOT e SEVILHA, 2005).

A Mata Seca caracteriza-se por apresentar um ritmo estacional definido pela desfolha de sua vegetação durante o período seco (BELÉM, 2002).

De acordo com Brandão (2000), o bioma Caatinga no Norte de Minas apresenta 6 tipos fitofisionômicos: as formações florestais que são representadas pela Floresta semidecídua (restritas às margens dos rios), Floresta Decidual, Caatinga Arbórea Densa e Caatinga Arbórea Aberta (os furados) e as formações arbustivas que são as formações arbustivas representadas pela Caatinga Arbustiva e pela Caatinga Hiperxerófila.

Essa fitofisionomia ocorre em áreas que apresentam “duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa seguida por outra com longo período seco, apresentando o estrato arbóreo predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos desprovidos de folhagem no período seco” (IBGE, 1996). Em Caatinga (2007) a floresta pode ser considerada decidual quando esta se apresentar com mais de 70% de sua vegetação desfolhada durante a estação seca. O fator determinante para a ocorrência dessa formação vegetal possivelmente está ligado às condições edáficas locais (GOODLAND e FERRI, 1979). Para Belém (2002), a ocorrência da Floresta Estacional está vinculada à associação solo de origem calcária e clima tropical semi-úmido ou semiárido.

De acordo com Schariot e Sevilha (2005), a existência de tipos diferenciados de Florestas Estacionais está condicionada às variações climáticas, edáficas e topográficas. Em estudos realizados por estes autores, na bacia do Rio Paraná, Goiás foi verificado a desfolha de mais de 90% da vegetação no período seco. As Florestas Decíduas são reconhecidas por dois tipos básicos: a Mata Seca dos Neossolos Litólicos, com substrato calcário ou ardósia com vegetação de porte mediano, com raríssimas epífitas e poucas lianas e a Mata Seca de alto porte associada à Latossolos Vermelhos eutróficos que se destaca pelo seu porte bastante desenvolvido, pelos troncos grossos e pelas inúmeras trepadeiras (BRANDÃO, 2000).

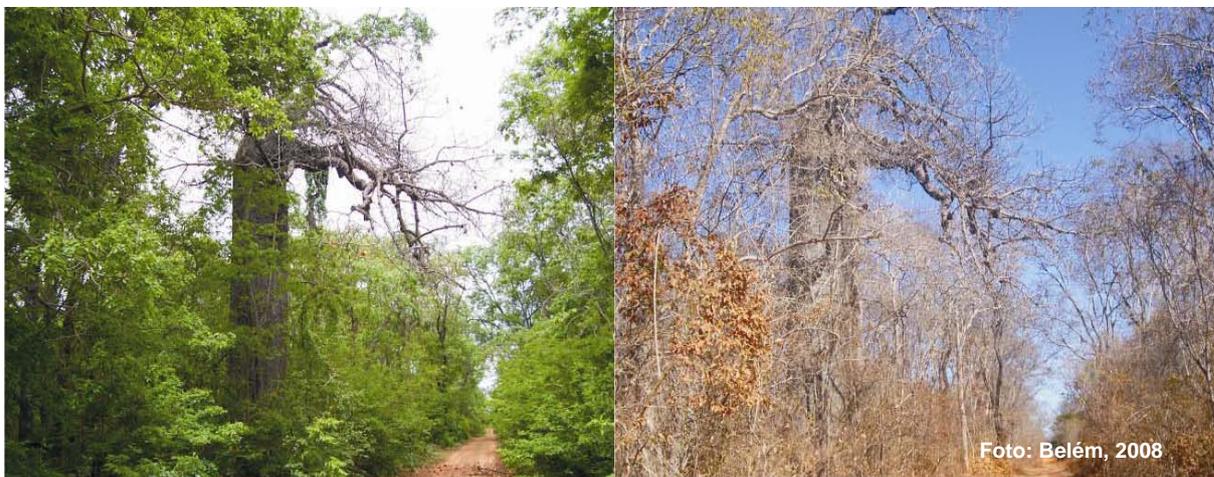
No Norte de Minas Gerais, a Floresta Estacional Decidual e Caatinga Arbórea são duas fitofisionomias que se distinguem no tocante à fisionomia e a florística. A Floresta Decídua apresenta grande porte, com árvores de altura superior a 15 metros e um dossel mais fechado, enquanto que a Caatinga Arbórea não passa de 10 metros, podendo ser densa ou aberta. Floristicamente, ambas possuem espécies comuns, mas a Caatinga Arbórea raramente apresenta indivíduos da espécie *Cavanillesia arborea*, popularmente conhecida como Barriguda Lisa (BRANDÃO, 2000).

O Parque Estadual Mata Seca (PEMS) possui 10.281,44 ha e está localizado ao norte de Minas Gerais, Município de Manga entre os Municípios de Matiais Cardoso e São João das Missões. Foi criado pelo governo Estadual sob Decreto 41.479 de 20 de Dezembro de 2000 visando proteger o ecossistema caatinga, ameaçado por pressões antrópicas da região e resultou de uma condicionante ambiental que exigia a criação de uma unidade de conservação na margem esquerda do Rio São Francisco no Norte de Minas Gerais. Este evento se deu, quando o governo estadual propôs a criação da Etapa II do Projeto Jaíba no início dos anos 90.

O governo estadual teve que atender a uma série de condicionantes ambientais determinadas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) e que reflete o amadurecimento das preocupações ambientais no âmbito da sociedade civil e o fortalecimento das instituições ambientais do Estado nas últimas décadas. A formação desta Unidade de Conservação tem sido um grande desafio enfrentado pelo poder público pela dificuldade de alocação dos recursos necessários para regularização fundiária da unidade e principalmente por ainda não ter regras estabelecidas eficientes à aplicação dos recursos.

Dentre as fitofisionomias encontradas no Parque Estadual Mata Seca (PEMS), a Floresta Estacional Decidual Densa e de porte e a Caatinga Arbórea Aberta (os Furados) estão em destaque nos limites do parque. As manchas de Floresta Estacional Decidual de porte representam um dos últimos remanescentes dessas formações florestais no Norte de MG.

Sabe-se que a diferenciação dessas duas fitofisionomias é extremamente difícil, pois exige do avaliador muita experiência de campo, uma base mínima de conhecimento da flora e elevada acuidade visual. Essa questão se torna mais difícil no Norte de Minas porque essa região se encontra numa zona de transição entre os biomas Caatinga e Cerrado e a fitofisionomia Floresta Decídua está presente nos dois domínios. No Parque Estadual Mata Seca, essa situação está muito clara, pois são bastante perceptíveis as diferenças fisionômicas existentes entre Caatinga Arbórea Aberta encontrada na região dos Furados (Figura 2.) e a Floresta Estacional Decídua de alto porte (Figura 3.).



**Figura 3.** Vista parcial da deciduidade da Floresta Estacional Decidual no Parque Estadual Mata Seca.

Embora muito diversificadas e amplamente distribuídas em várias regiões do país, pouco se conhece sobre as Florestas Estacionais Decíduas (Matas Secas).

Para Cavalcanti (2001), apesar do grande interesse global em se conhecer os ambientes florestais, ainda são escassas as informações em áreas de domínio das Florestas Estacionais Decíduas, principalmente no que se refere à ecologia destes ambientes. No Norte de Minas Gerais, esta floresta encontra-se ameaçada, principalmente pela expansão do carvoejamento e da agropecuária que devastam imensas áreas nativas em função do potencial madeireiro. De acordo com Belém (2008), a acelerada pressão antrópica sofrida nesta região é muito maior que o conhecimento adquirido até aqui sobre este ecossistema o que consequentemente favorece a perda da biodiversidade.

Atualmente, as Florestas Decíduas podem ser encontradas, principalmente, sob a forma de remanescentes naturais distribuídos nos diversos biomas sul americanos. No Brasil, o principal representante da flora decídua é o bioma Caatinga a nordeste do país, porém é possível encontrar encraves em geral sobre afloramento de calcário nas diversas fisionomias (RIZZINI, 1997).

### **2.3 Os fungos micorrizas arbusculares - FMA**

Os seres vivos mais primitivos do planeta são os microrganismos, cuja origem data de bilhões de anos. Ao longo do processo evolutivo adquiriram características e adaptabilidades para coexistência com outros seres vivos, mantendo relações diversas em forma e função. Existem inúmeras relações biológicas entre os seres vivos, com destaque para as simbioses entre plantas e microrganismos heterotróficos, como as micorrizas, que promovem associações mutualistas entre o fungo e as raízes das plantas. Esta associação é possível pela capacidade de comunicação molecular entre o fungo e a planta e através de mecanismos de reconhecimento, possibilitando que haja interações célula-célula, funcional e morfológica, estabelecendo relação simbiótica estável. As micorrizas por manterem esta relação, são consideradas fenômenos generalizados na natureza (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Embora as micorrizas tenham sua origem tão antiga, cerca de 353-462 milhões de anos, período que coincide com o aparecimento das plantas terrestres, apenas no século XIX um fisiologista de plantas, o alemão Bernard Frank, distinguiu entre micorrizas ectotróficas e endotróficas e desenvolveu estudos científicos sobre a anatomia e a ocorrência dessas associações, especulando sobre os possíveis benefícios para as plantas. Além de descrever estas associações ele empregou pela primeira vez o termo Mycorrhiza originado do grego. O termo micorriza (do grego, mykes – mikorhiza= fungo; rhiza = raiz) designa associação simbiótica entre raízes de vegetais e fungos presentes no solo (REDECKER *et al.*, 2000).

As micorrizas apresentam uma variedade de associações, dependendo do grupo taxonômico do fungo envolvido na associação, de alterações morfológicas provocadas pela penetração das hifas, do modo de penetração das hifas na raiz da planta hospedeira e do grupo taxonômico da planta envolvida no processo.

Com base na morfoanatomia das raízes colonizadas, as micorrizas são distinguíveis morfológicamente, formando tipos anatômicos e funcionais de micorrizas (SIQUEIRA, 1994; VARGAS e HUNGRIA, 1997). A classificação das ectomicorrizas e endomicorrizas distingue apenas as micorrizas que penetram (endo) nas células das raízes das plantas hospedeiras das que não penetram (ecto).

As ectomicorrizas são caracterizadas pela formação de manto micelial sobre a raiz, penetração apenas intercelular do córtex pelo micélio fúngico, com a formação da “rede de Hartig”. A colonização por esta micorriza se dá apenas em raízes laterais absorventes e causa modificações morfológicas visíveis nas raízes.

As endomicorrizas são formadas por fungos que penetram e se desenvolvem inter e intracelularmente no córtex da raiz hospedeira, formando estruturas fúngicas específicas dentro das células corticais. As mais comuns são as do tipo micorrízicos arbusculares (MA). Estas não formam manto micelial externo e não causam modificações morfológicas visíveis nas raízes colonizadas (SIQUEIRA, 1994). Entretanto, Vargas e Hungria (1997) afirmam que diferenças entre tipos de fungos e plantas hospedeiras dão condições a uma classificação mais específica das micorrizas como: ectomicorriza; micorriza arbutácea; micorriza monotropácea (apresentam estruturas características de ectomicorriza); ectendomicorriza (se diferencia da ectomicorriza apenas estruturalmente); micorriza ericácea; micorriza orquidácea e micorriza arbuscular (apresentam características de endomicorrizas).

As micorrizas arbusculares encontram-se distribuídas na maioria dos ecossistemas, desde os florestais aos desérticos, em regiões tropicais, temperadas e árticas. Embora sejam predominantes nos ecossistemas tropicais e raras em ecossistemas polares, são cosmopolitas e representam a mais ampla associação entre plantas e fungos encontrada na natureza (SOUZA e SILVA, 1996). Não modificam visivelmente a morfologia das raízes das plantas hospedeiras e as hifas penetram intra e intercelularmente e formam no interior das células arbúsculos e algumas famílias apresentam vesículas.

As Ectomicorrizas são predominantes em florestas temperadas, sendo típicas de árvores de clima temperado, como as coníferas e em algumas árvores de clima tropicais. Causam intensas modificações morfológicas, sendo visíveis nas raízes colonizadas de plantas hospedeiras. São formadas, na maioria, por fungos septados em geral pertencentes aos Basidiomicetos, onde as hifas penetram no córtex das raízes apenas intercelularmente, com formação da rede de Hartig, substituindo a lamela média e formando um manto fúngico ao redor das raízes.

As ectendomicorrizas possuem características semelhantes às ectomicorrizas. As hifas penetram inter e intracelularmente nas células do córtex radicular, formando hifas enoveladas no interior das células, formam a rede de Hartig. A penetração intracelular ocorre especialmente nas partes mais velhas da raiz (SAGGIN-JÚNIOR e SILVA, 2005; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

As micorrizas orquidóide, monotropácea, ericóide e arbutóide têm importância para algumas famílias de plantas como *Orquidaceae*, *Monotropaceae*, *Ericaceae* e *Arbutaceae* (VARGAS e HUNGRIA, 1997).

A origem dos FMA foi confirmada por evidências analisadas em registros fósseis durante o período Devoniano, os quais revelaram a presença de estruturas fúngicas similares àquelas formadas pelos atuais fungos micorrízicos (PIROZYNSKI, 1981).

A classificação dos glomeromicetos tem sido baseada em evidências do registro fóssil, da biologia molecular (SIMON *et al.*, 1993) e através de análise filogenéticas (MORTON, 2000). Os primeiros trabalhos de sistemática molecular em glomeromycota foram realizados na década de 90 (SIMON *et al.*, 1993). A sistemática microbiana tem evoluído muito, principalmente nos últimos anos sendo impulsionada pelos avanços de novas técnicas associadas à melhoria de bancos de germoplasma. Seguindo esta tendência, a sistemática dos glomeromicetos tem avançado bastante, principalmente nos últimos anos.

A taxonomia por sua vez, é uma ciência dinâmica, assim a mudança na classificação e nomenclatura é constante. Em 2001, foi publicada a nova classificação dos FMA, com base em estudos de convergência filogenética de características morfológicas, bioquímicas e moleculares, com a proposição do Filo Glomeromycota (SCHÜBLER *et al.*, 2001). Nestes estudos, os autores demonstraram que os FMA constituem um grupo monofilético distinto de outros fungos conhecidos. E foi com base nestes dados, que os FMA foram reclassificados, sendo ascendidos a uma nova categoria taxonômica, o Filo Glomeromycota. Neste mesmo

estudo foram propostas também as ordens Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales e Paraglomerales (Tabela 1.).

Os glomeromicetos são considerados organismos assexuais ancestrais e sua reprodução é clonal (reprodução assexuada). A teoria da evolução indica que organismos de reprodução clonal por longos períodos de tempo sejam extintos. Diante disso, os glomeromicetos são considerados escândalos evolutivos, pela sua idade ancestral e longo período de co-evolução (NORMARK *et al.*, 2003).

**Tabela 1.** Classificação filogenética atual dos Glomeromycota segundo Ordens, Famílias, Gêneros e número de espécies descritas por gênero.

Ordem	Família	Gênero	Nº Espécie
Archaeosporales	Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>	1
		<i>Intraspora</i>	1
	Appendicisporaceae	<i>Appendicispora</i>	7
	Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>	1
Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>	33
		<i>Kuklospora</i>	2
	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>	1
	Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>	2
		<i>Gigaspora</i>	8
	Gigasporaceae	<i>Scutellospora</i>	33
		<i>Pacispora</i>	7
Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>	107
Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomus</i>	2
Total 4	10	13	205

Fonte: Souza *et al.* (2008).

Os FMA são comuns na biota do solo na grande maioria dos ecossistemas terrestres, como florestas tropicais e temperadas, dunas, desertos, pradarias e sistemas agrícolas (BRUNDRETT, 1991). São simbioses obrigatórios, ou seja, para completar seu ciclo de vida, precisam estar associados com raízes de planta hospedeira metabolicamente ativa. Esta condição se deu quando esses organismos perderam sua capacidade de fixar C ao longo de sua evolução, passando a depender exclusivamente do hospedeiro autotrófico como fonte de compostos orgânicos (GADKAR *et al.*, 2001).

Estes fungos Micorrízicos Arbusculares (MA) trazem benefícios à comunidade vegetal e ao ambiente, formam associação com a maioria das plantas superiores fornecendo nutrientes e água, assim como possibilita maior estabilidade do solo por maior retenção de água e agregação do solo. Colonizam cerca de 90% dos representantes das espécies de plantas vasculares (AUGÉ *et al.*, 2001; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006) como as Briófitas, Pteridófitas, algumas Gimnospermas a maioria das Angiospermas (magnoliófitas) (GIANINAZZI-PEARSON, 1996). Poucas espécies de plantas como os membros das famílias *Caryophyllaceae*, *Scrophulariaceae*, *Brassicaceae*, *Amaranthaceae*, *Commelinaceae*,

*Juncaceae* e *Cyperaceae* *Polygonaceae*, *Chenopodiaceae*, ou *Urticaceae* não estão envolvidos nessas interações e, portanto, constituem a regra e não a exceção na natureza (SAGGIN-JÚNIOR e SIQUEIRA, 1996; SMITH e READ, 1997; BRUNETT, 2002).

A maioria das espermatófitas (97%) forma micorrizas incluindo espécies de interesse florestal tropical, agrônômico e pastoril (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002).

Os propágulos infectivos dos FMA encontrados nos solos estão em forma de esporos, hifas ou infectando fragmentos de raízes. Além de propágulos infectivos estas estruturas podem reiniciar o desenvolvimento do fungo no solo (TOMMERUP e KIDBY, 1980 *apud*, VARGAS e HUNGRIA, 1997; SYLVIA e JARSTFER, 1992).

A relação simbiótica iniciada pelos propágulos dos FMA no solo, é influenciada por fatores físicos e químicos do solo e por estímulos oriundos de exsudados das raízes de plantas hospedeiras (ZAMBOLIM e SIQUEIRA, 1985).

De acordo com Tamasloukht *et al.* (2003), o desenvolvimento inicial do fungo micorrízico se dá com a germinação de esporos quiescentes, dando origem a uma hifa. Os esporos estão relacionados a estruturas estratégicas de dispersão e sobrevivência dos FMA que suportam períodos adversos (HETRICK, 1985), e sobrevivem por vários anos no solo (SIEVERDING, 1991; WILSON e TOMMERUP, 1992). São esporos assexuados, variando as cores de hialino e amarelo claro a amarronzado, avermelhado até preto e são os maiores esporos de fungo no solo (diâmetro 45-700µm). São estruturas formadas repetidamente nas hifas extra-radiculares em algumas espécies também nas intra-radiculares.

Dodd *et al.* (1983) avaliaram que embora a quantidade de esporos no solo não forneça o valor real de sua capacidade infectiva na planta hospedeira, pode indicar o nível populacional dos FMA. Consequentemente, a capacidade dos propágulos fúngicos de um solo infectarem raízes de plantas, pode estar relacionado ao número de esporos presentes. O esporo reúne o sistema de informações genômica de um fungo em um pacote que pode resistir às variações ambientais, dispersar informações para outras áreas, e inicia a formação de uma nova simbiose. Os esporos são os propágulos mais utilizados na identificação de espécies dos FMA por possuírem estruturas que permitem a caracterização morfológica diversificada, possibilitando assim, a separação dos grupos taxonômicos até espécies (MORTON *et al.*, 1995a,b). As diferenças morfológicas entre os esporos podem ser influenciadas por condições ambientais (SILVA e COLOZZI-FILHO, 2007) e estas diferenças nem sempre são evidentes a ponto de permitir sua diferenciação no nível de espécie (LANFRANCO *et al.*, 2001).

Goto e Maia (2006) sugeriram denominar glomerosporos todos os esporos formados por Glomeromycetes, assim como os esporos de ascomicetos são ascósporos e os de basidiomicetos são basiosporos.

As características morfológicas usadas na separação de espécies incluem tamanho, ornamentação e número de paredes dos esporos; tipos e forma de oclusão das hifas (GIOVANNETTI e GIANINAZZI-PEARSON, 1994), além do número, posição, tipo e propriedades de tipos de paredes subcelulares dos esporos (MORTON *et al.*, 1992).

O fungo micorrízico apresenta um crescimento limitado da hifa na ausência de uma planta hospedeira, já na presença de exsudados de raízes de plantas hospedeiras, o crescimento e a ramificação da hifa aumentam consideravelmente. Isto faz do micélio externo dos FMA um dos principais componentes da simbiose fungo-hospedeiro no solo.

Segundo Eckardt (2005), a hifa cresce em direção à raiz da planta hospedeira, com (diferenciação fúngica) formação do apressório funcional (estrutura de adesão e penetração), que determina a penetração nas raízes. Este propágulo se constitui em importante resposta de reconhecimento de um hospedeiro compatível, determinado pelo genoma da planta e afetado pelo nível de fosfato na planta (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). As hifas intra-radiculares se diferenciam em estruturas globosas e alongadas, ricas em lipídios e assim, se estabilizando em "unidades de infecção" nas raízes (arbúsculos e vesículas).

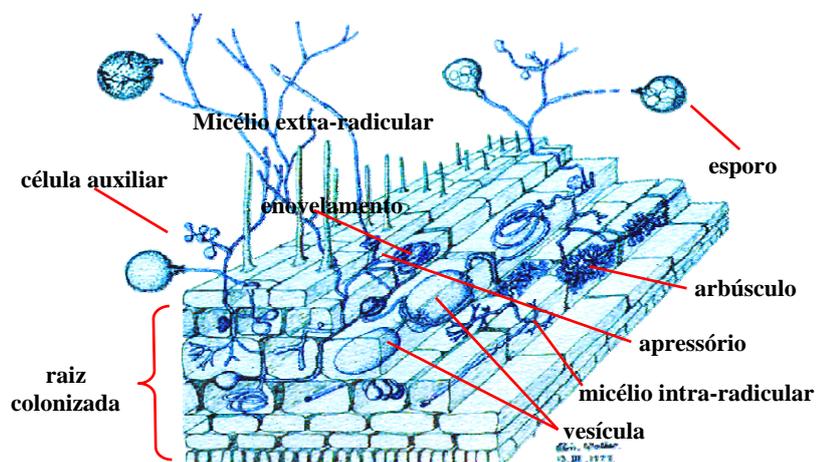
Os arbúsculos são estruturas típicas diferenciadas desses fungos, consistem de hifas altamente ramificadas e originam-se da penetração de células corticais pela hifa, causando invaginação da plasmalema. São esses os principais locais de troca de metabólitos entre os simbiontes e, assim, do ponto de vista fisiológico, a principal estrutura da simbiose (BONFANTE-FASOLO, 1984). Após o seu período viável (4 ou 5 dias) esta estrutura sofre degeneração sendo completamente degradada pela célula vegetal recuperando sua morfologia original, tornando-se capaz de permitir uma outra penetração fúngica e formação arbuscular. Esse é um processo dinâmico, ou seja, enquanto alguns arbúsculos entram em senescência, outros estão em formação (JACQUELINET-JEANMOUGIN *et al.*, 1987). Mas, nem todas as células corticais são infectadas, sendo a diferenciação de hifas terminais em arbúsculos ocorrendo em algumas das células colonizadas (SIQUEIRA *et al.*, 2002).

As vesículas podem ser formadas dentro ou entre as células do córtex, dependendo do fungo e das condições do hospedeiro. Quando abundantes, elas podem ser localizadas perto de pontos de entrada e freqüentemente são dispersas ao longo da raiz. As vesículas são estruturas globosas, elípticas ou lobadas contendo lipídios e grânulos de glicogênio, servindo aparentemente como órgão de reserva para o fungo. São membros das famílias *Glomeraceae* e *Acaulosporaceae* (SMITH e READ, 1997). Normalmente é subglobosa a elíptica em *Glomeraceae* enquanto que em *Acaulosporaceae* são mais irregulares ou oblongas amoldadas à célula vegetal e parecem freqüentemente nodosas por causa de convoluções superficiais. O comprimento e a forma das ornamentações das paredes celulares das vesículas diferem bastante a ponto de separar gêneros, porém estes caracteres não são taxonomicamente informativos para separar espécies (MORTON e BENTIVENGA, 1994).

As células auxiliares são encontradas apenas nos membros da família *Gigasporaceae*. São células frágeis ricas em lipídios e funcionam como “vesículas extraradiculares” sendo formadas fora das raízes, funcionando como órgãos de estocagem para o fungo. São abundantes antes da esporulação e declinam depois, independentemente do hospedeiro, sugerindo que elas fornecem macromoléculas de carbono durante a formação dos esporos grandes (MORTON e BENTIVENGA, 1994).

De acordo com Siqueira *et al.* (2002), não ocorrem alterações morfológicas macroscópicas do sistema radicular quando as raízes são colonizadas pela micorriza arbuscular, sendo sua presença detectada somente através de observações microscópicas de raízes clarificadas e coloridas com corantes especiais. Já em colonização por ectomicorrizas (formação do manto), são reportadas mudanças na morfologia de raízes infectadas.

A colonização nas células do córtex das raízes se dá inter e intracelularmente, ocorrendo na epiderme e parênquima cortical. As regiões meristemáticas e o cilindro central não são colonizados (BONFANTE-FASOLO, 1984) (Figura 4.).



**Figura 4.** Esquema de fragmento de raiz de planta colonizada pelo FMA.

### 2.3.1 Micélio Extra-radicular.

A proliferação e a ramificação do micélio externo variam diante da presença ou ausência de plantas hospedeiras, se dá em função nutricional, e embora ainda não totalmente esclarecida, o micélio participa da conservação do solo através da promoção da agregação de partículas, principalmente em solos ácidos (MILLER *et al.*, 1995). Neste sentido, a contribuição do micélio para a agregação do solo se dá em três etapas: a primeira etapa diz sobre o crescimento das hifas extra-radulares através do solo, formando uma espécie de estrutura de sustentação, mantendo as partículas unidas através do efeito físico; na segunda etapa as hifas mantêm, fisicamente, unidas partículas minerais e orgânicas possibilitando a formação de microagregados. As partículas são “cimentadas” pela ação de agentes ligantes que formam complexos com a argila e matéria orgânica; na terceira etapa, as hifas e as raízes mantêm, fisicamente, unidas os microagregados, criando uma estrutura macroagregada, possibilitando a estabilização pela cimentação com polissacarídeos e outros componentes orgânicos (TISDAL e OADES, 1982; GUPTA e GERMIDA, 1988).

As hifas extra-radulares existem em várias formas com diferentes funções possíveis: hifas de absorção, colonizando a rizosfera no solo, hifas crescendo ao longo da superfície da raiz para estabelecer novos pontos de entrada, e hifas férteis formando novos esporos (MORTON e BENTIVENGA, 1994).

Nas hifas de absorção e colonização, além da absorção de nutrientes do solo, o micélio participa do processo de conservação do solo pela promoção da agregação (MILLER *et al.*, 1995). O crescimento da hifa extraradicular no solo proporciona uma estrutura de sustentação que mantém unidas as partículas do solo pelo efeito físico. Especialmente nos solos arenosos, a ação do micélio é bastante importante, por manter os macroagregados unidos, possibilitando a ligação entre as partículas intermediadas por componentes orgânicos (READ, 1989). Além de possibilitar a formação de microagregados pela união de partículas minerais e orgânicas, que são “cimentadas” através da ação de agentes ligantes (polissacarídeos e cátions polivalentes) formando complexos com a argila e com a matéria orgânica do solo. Poderão ser formados a partir daí, estruturas macroagregadas estabilizadas pela “cimentação” pelos agentes ligantes e outros componentes orgânicos (EMERSON *et al.*, 1986; GUPTA e GERMIDA, 1988; MOREIRA e SIQUEIRA, 2002; RILLIG *et al.*, 2002).

O micélio externo tem como principal característica a capacidade de se estender além da zona de depleção (1-2 mm), deficiente em nutrientes, que ocorrem ao redor das raízes e pelos absorventes, absorver e transportar nutrientes, principalmente o fósforo (P), para as plantas hospedeiras (NYE e TINKER, 1977; COX *et al.*, 1980). E ainda é capaz de promover uma colonização mais rápida que a iniciada a partir dos esporos (READ *et al.*, 1976; READ, 1987).

Segundo Newman *et al.* (1994) e Martins e Read (1996), o micélio externo estabelece interligações entre plantas de mesmas, ou diferentes espécies, favorecendo a transferência de nutrientes entre elas, baseado em seus resultados de estudos com elementos radioativos. Desta forma, a ruptura ou quaisquer danos causados no micélio externo como uso de práticas que reduzam o crescimento radicular e, conseqüentemente, o crescimento micelial poderia ocasionar efeitos adversos sobre a planta hospedeira (TISDAL e OADES, 1982). Além disso, estes agregados podem ser degradados à medida que são formados, devido à rápida decomposição das hifas de FMA no solo (ZHU e MILLER, 2003).

Não existe uma correlação específica e direta entre comprimento de micélio e índice de agregação. Nem sempre as espécies de FMA que produzem os maiores comprimentos de micélio externo são responsáveis por maiores índices de agregação. Em trabalho realizado por Piotrowsky *et al.* (2004), no Canadá foi verificado que espécies da família Gigasporaceae contribuíram com os menores índices de agregação e, no entanto espécies desta família

apresentaram maiores comprimentos de micélios quando comparados às demais espécies do experimento. Segundo, Friese e Allen (1991), a distribuição espacial do micélio no solo é responsável pela sua estabilidade e não o comprimento do micélio.

Ainda no início da década de 90, Wright *et al.* (1996), observaram uma substância produzida pelos FMA que ficou conhecida como Glomalina. Desde então, esta substância tem sido analisada por inúmeros estudiosos da comunidade científica, principalmente nos Estados Unidos, por ser o local onde se encontram os núcleos de tais pesquisadores.

### 2.3.2 Glomalina: a glicoproteína dos FMA

A glomalina, termo geral utilizado para esta glicoproteína, insolúvel em água e imunoreativa, componente da parede das hifas dos FMA, que se acumulam no solo após o processo de decomposição das hifas por microrganismos edáficos (DRIVER *et al.*, 2005). A produção de micélio externo está positivamente relacionada com a glomalina, sendo as hifas externas, esporos e raízes colonizadas responsáveis por sua síntese (WRIGHT *et al.*, 1996; TRESEDER *et al.*, 2004).

Sua recente descoberta foi relatada por Wright *et al.* (1996), que observaram que esta glicoproteína proporciona aumento na agregação e na estabilidade de agregados do solo, agindo como um ligante orgânico atuando, assim, no processo de cimentação e criando uma espécie de selamento. A partir daí vários pesquisadores concentraram seus trabalhos em aprofundar a relação da estabilidade de agregados do solo com a glomalina (WRIGHT *et al.*, 1996; WRIGHT, 2000; RILLIG *et al.*, 2001).

Poucos anos depois, Wright *et al.* (1999), confirmaram a contribuição desta proteína para a agregação em seus estudos sobre as relações entre a estabilidade de agregados e a glomalina, avaliando o impacto de fatores como cultivo convencional mecanizado e estoque de carbono no solo sobre a produção de glomalina e a agregação. Os autores observaram que, as áreas de cultivo com milho (*Zea mays*) e revolvimento do solo apresentaram redução (16,7%) na estabilidade de agregados, enquanto que as áreas nativas com predominância de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) apresentaram maior estabilidade dos agregados (53,2%) na camada de 0 -5 cm. A perturbação pelo cultivo mecânico favorece a quebra da glomalina, e facilita a volta do C à atmosfera na forma de dióxido de carbono. Segundo Rillig *et al.* (2003b), outro aspecto interessante relacionado ao teor de glomalina no solo é que sua quantificação experimental tem demonstrado variações em termos de concentração em resposta a perturbações no ecossistema.

Rillig *et al.* (1999) apontam a glomalina como um importante colaborador no sequestro de C, visto sua participação no processo de formação e estabilização dos agregados. Embora já tenha sido verificado por Lovelock *et al.* (2004); Mergulhão (2006) não encontraram nenhuma relação entre esta proteína e os teores de nutrientes do solo como Ca, Mg, P, K e pH.

A glomalina por estar relacionada à agregação de partículas, e sugere-se que tenha uma importante participação no seqüestro de Carbono (C), pode absorver naturalmente o C, mantendo-o no solo, beneficiando a fertilização do solo devido à sua característica de adesão, de modo a agregar as partículas do solo, possibilitando a penetração de água, oxigênio e raízes (RILLIG *et al.*, 2002; RILLIG, 2004). Em estudos realizados por Zhu e Miller (2003), quando estimaram a permanência da glomalina no solo, avaliaram ser de 6 a 42 anos, tempo para sua completa mineralização e observaram que este período é bem superior ao período de permanência das hifas dos FMA (5-7 dias) e também das raízes das plantas (FITTER e MOYERSON, 1996).

Wright e Upadhyaya (1998) relatam que o fato de a glomalina ser insolúvel em água e por ser extraída em altas temperaturas, uma vez que normalmente as proteínas se desnaturam quando submetidas a altas temperaturas, sugere que ela seja uma molécula extremamente estável. Além disso, trata-se de uma molécula recalcitrante e abundante no solo, portanto, está fortemente correlacionada com o C e o Nitrogênio (N) do solo (RILLIG *et al.*, 2001; NICHOLS e WRIGHT, 2005). Para Treseder e Turner (2007), a glomalina constituiu-se em um importante reservatório global de carbono no solo.

Para a avaliação da qualidade do solo têm sido utilizados vários indicadores químicos, físicos e biológicos e as alterações sofridas, por estes, diante do tipo de manejo. Para ser um bom indicador é imprescindível que o mesmo não se modifique frente a variações ambientais, mas que ao mesmo tempo sejam sensíveis às modificações impostas pelo manejo do solo e ainda ser capaz de representar os processos do ecossistema (DORAN, 1997).

A glomalina pode ser classificada de acordo com os processos de extração e quantificação (JANOS *et al.*, 2008). Quando quantificada pelo método Bradford recebe a denominação Proteína do Solo Reativa a Bradford (PSRB), que será mencionado mais a diante.

Rillig *et al.* (2003a) sugerem que a quantificação da glomalina no solo pode constituir importante indicador de mudanças causadas pelo uso do solo e por isso, poderia se tornar bom indicador da sua recuperação por atender integralmente os fatores e por ser correlacionada com importantes propriedades do solo. Sua presença pode ser um dos principais requisitos, além da água, para diferenciar um terreno fértil de um não fértil. Podendo assim, ser considerada uma boa alternativa na avaliação da qualidade do solo. Sua estabilidade no solo permite, através de uma única amostragem, estabelecer com razoável segurança o teor de glomalina no solo (LUTGEN *et al.*, 2003). Purin (2005), em trabalho realizado em campo nativo de solos tropicais observou uma correlação significativa entre a PSRB e carbono orgânico total, durante o período de inverno ( $r = 0,892$ ;  $p = 0,017$ ).

A glomalina pode ser classificada de acordo com os diferentes processos de extração e quantificação (JANOS *et al.*, 2008). Segundo Rillig (2004); Rosier *et al.* (2006), quando esta glicoproteína é quantificada pelo método Bradford (WRIGHT e UPADHYAYA, 1998) pode receber as seguintes denominações:

1) Proteína do solo reativa a Bradford (PSRB): obtida com extrator de alta molaridade (citrato de sódio 50 mM pH 8,0) em ciclos sucessivos de autoclavagem (60 minutos, 121°C pH 7,4);

2) Proteína do solo reativa a Bradford Facilmente Extraível (PSRB-FE): fração da PSRB removida com apenas um ciclo com extrator de baixa molaridade (citrato de sódio 20 mM pH 7,0), quando as amostras de solos são autoclavadas (30 minutos, 121°C).

O método Bradford não é específico para glomalina, e tem enfrentado diversas críticas pelo fato de quantificar as proteínas totais presente na amostra de solo, podendo influenciar na quantificação da PSRB.

A metodologia do teste ELISA (teste imuno-enzimático de alta sensibilidade) permite a quantificação da glomalina pelo uso de dois anticorpos, primário, específico para a glomalina, e o secundário conjugado a biotina (vitamina H). Foi produzido por Wright *et al.* (1996) um anticorpo monoclonal (MAb 32B11) contra esporos de FMA da espécie *Glomus intraradices* capaz de reconhecer a glomalina dos fungos do filo Glomeromycota testados.

Quando o método de quantificação utilizado é o teste ELISA, recebe as seguintes denominações:

1) Proteína do solo Imunoreativa (PSIR): parte da fração PSRB que exhibe imunoreatividade com o anticorpo Mab 32B11.

2) Proteína do solo Imunoreativa facilmente extraível (PSIR-FE): parte da fração PSRB-FE que exibe imunoreatividade com o anticorpo Mab 32B11 (WRIGHT e UPADHYAYA, 1996; RILLIG, 2004; ROSIER *et al.*, 2006).

De acordo com Rosier *et al.* (2006), ambos os métodos podem ser influenciados pelo estoque de matéria orgânica do solo. Embora estes métodos (Bradford e ELISA) apresentem limitações para quantificar a glomalina, têm sido utilizados tanto para quantificar os estoques e avaliar o ciclo da glomalina no solo como para verificar as relações funcionais entre a glomalina e as propriedades do solo (HALVORSON e GONZALEZ, 2006).

Rosier *et al.* (2006) verificaram que o método Bradford não desnatura todas as proteínas derivadas de plantas contidas nas amostras de solo, pelo processo de extração da glomalina com o uso do citrato de sódio. Segundo Whiffen *et al.* (2007) e Halvorson e Gonzalez, (2008) extratos de proteínas relacionadas a glomalina, também pode ser superestimada pela presença, possível, de compostos polifenólicos como de tanino e ácidos húmicos.

O método ELISA, embora seja específico para detectar esta glicoproteína pode ter a sensibilidade reduzida pela matéria orgânica (MO), subestimando a quantidade da proteína pela retenção parcial (compostos orgânicos se ligam ao antígeno impedindo que o mesmo esteja disponível para a reação após a extração) ou interferência parcial (compostos solúveis do solo se ligam à parede das micropilhas impedindo que o antígeno de interesse possa se aderir) (OTTEN *et al.*, 1997).

Embora a quantificação da glomalina pelo método de Bradford, seja bastante questionada (HALVORSON e GONZALEZ, 2008), tem uma correlação direta com pelo método ELISA, o que aponta sua eficiência em fornecer uma boa estimativa relativa do conteúdo da glomalina no solo (ROSIER *et al.*, 2006).

Segundo Bird *et al.* (2002), valores de glomalina total não excederam  $0,6 \text{ mg g}^{-1}$  de solo em regiões semiáridas. A produção de glomalina total pode chegar a  $3,65 \text{ mg g}^{-1}$  de solo em áreas revegetadas com plantas micorrizadas (CARAVACA *et al.*, 2005). Em áreas agrícolas, Rillig *et al.* (2003b) verificaram que os valores de glomalina facilmente extraível e total estão em torno de  $0,5$  e  $3 \text{ mg g}^{-1}$  de solo.

Não foi observada relação entre a produção de glomalina e os teores de Ca, Mg, P e K. E o pH foi correlacionado negativamente com as frações facilmente extraível e total (GFE e GT). Altas concentrações desses nutrientes também inibiram a produção da fração facilmente extraível (GFE) (RILLIG *et al.*, 2003; LOVELOCK *et al.*, 2004).

A glomalina pode servir como fonte de nutrientes no solo (HARNER *et al.* 2004); sua produção é dependente da espécie de FMA (WRIGHT *et al.*, 1996;). A presença e o tipo de vegetal afetam a produção desta proteína (WRIGHT e ANDERSON, 2000; BIRD *et al.*, 2002; RILLIG *et al.*, 2002) enquanto que a sazonalidade apresenta pouca influência na concentração de glomalina no solo (LUTGEN *et al.*, 2003).

O uso de FMA com maior potencial para produção desta proteína no solo pode ser indicado por melhorar as condições edáficas e o crescimento de plantas hospedeiras (PIOTROWSKI *et al.*, 2004; RILLIG, 2004).

## **2.4 Distribuição dos fungos micorrízicos arbusculares - FMA**

### **2.4.1 Diversidade de FMA nos ecossistemas**

Todas as espécies de plantas, animais, microrganismos, ecossistemas e processos ecológicos dos quais estes fazem parte, constituem a biodiversidade (ODUM, 1988).

A biodiversidade é um termo amplamente utilizado por ecologistas, na descrição da variabilidade entre organismos e ou populações de organismos. Pode ser avaliada pela diversidade ecológica (número de ecossistemas presentes em um determinado ambiente), diversidade genética (variabilidade dentro de uma espécie) e diversidade de espécies (número de diferentes espécies presentes em um dado ambiente). Medindo assim, os diferentes níveis de complexidade biológica (GIOVANNETTI e GIANINAZZI-PEARSON, 1994).

De acordo com Odum (1993) e Begon *et al.* (1996), a diversidade é um índice composto de variáveis: grupo de espécies (ou riqueza de espécies) e uniformidade de repartição dos indivíduos entre os grupos (ou equabilidade). De acordo com Kennedy (1999), a diversidade pode ser medida por intermédio de índices matemáticos.

Dentre os índices de diversidade mais usados, o índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) é o mais indicado, enquanto que o índice de Pielou é um dos mais consagrados índice de dominância (ROSSO, 1996).

A riqueza de espécies é representada pelo número de espécies por área. O índice de Margalef ( $R = -1/\log.n$ ) e o índice de Menhinick ( $R = S/n$ ) são os mais usados para medir riqueza de espécies, sendo:  $R$  = riqueza de espécies,  $S$  = número total de espécies,  $n$  = número de indivíduos.

As equações de Margalef e Menhinick são baseadas na suposição de que qualquer medida de riqueza depende do tamanho da amostra. Estes índices fornecem informações importantes acerca do padrão de distribuição de espécies microbianas dentro do ecossistema (KENNEDY e SMITH, 1995). Segundo Rosso (1996), quando se deseja estudar os efeitos das perturbações sofridas nos ecossistemas, o  $H'$  é considerado ideal por ser um índice que atribui maior peso às espécies não dominantes (tidas como raras), que são as primeiras a sofrer efeitos dos impactos ambientais. As espécies raras apresentam geralmente dispersão heterogênea no domínio amostral.

Segundo Pielou (1983), o índice de diversidade de Shannon é representado pela fórmula:

$$H' = -\sum (X_i/X_0) \cdot \text{Log} (X_i/X_0)$$

Onde,

$X_i$  = densidade de esporos de cada espécie em 50 cm<sup>3</sup> de solo;

$X_0$  = densidade total de esporos de todas as espécies.

O índice  $H'$  assume que todos os indivíduos são amostrados ao acaso de uma população indefinidamente grande e que todas as espécies estão representadas na amostra coletada, sendo relativamente independente do tamanho da amostra (ODUM, 1988; PIELOU, 1983).

Ao avaliar o número de grupos presentes, encontra-se a riqueza enquanto que a uniformidade, cuja fórmula é derivada do índice de Shannon ( $H'$ ), é uma medida de equidade dos padrões de abundância, ou seja, quando são encontrados valores menores em uma comunidade, significa que esta é menos uniforme onde a dominância de um ou mais grupos é mais acentuada (BEGON, *et al.*, 1996). Para Rosso (1996), equabilidade é a propriedade de uma comunidade que diz respeito à uniformidade de distribuição de espécies ou abundância relativa de espécies, também chamada de riqueza de espécies ou densidade de espécies. Equabilidade máxima significa uniformidade máxima e é mínima quando há apenas uma espécie dominante. Neste caso, o índice de Pielou ( $J'$ ) é o mais comumente utilizado. De acordo com Moço *et al.* (2005), o índice de Pielou é um índice de equabilidade onde a

uniformidade se refere ao padrão de distribuição dos indivíduos entre as espécies. Este índice é descrito pela fórmula:

$$J' = H'/H' \text{ max}$$

Onde,

$H'$  = índice de Shannon-Wiener;

$H' \text{ max}$  =  $\log S$ ;

$S$  = número total de espécies numa comunidade amostrada.

O padrão mais marcante é o de muitos grupos contendo poucos indivíduos e os de poucos grupos contendo muitos indivíduos. Assim, se torna importante frisar que qualquer medida utilizada apresenta uma visão parcial da presença dos organismos edáficos na comunidade (MOÇO *et al.*, 2005).

Os índices de diversidade são utilizados para avaliação da estrutura das comunidades de um mesmo ecossistema. Desta forma, avaliações das comunidades de FMA poderão apresentar informações sobre o padrão de esporulação destes fungos associados à sucessão vegetal quando comparado com uma floresta primária. Os principais componentes da diversidade biológica são: riqueza de espécies, dominância e equabilidade.

Diante do risco de extinção da diversidade biológica, Lubchenco (1991) aponta a necessidade em concentrar esforços em prevenir a extinção e na conservação da diversidade de espécies. A conservação e a eficiente utilização da biodiversidade dos FMA são de crucial importância para a sustentabilidade do sistema de produção das plantas que se associam aos mesmos.

Caproni (2001) e Mergulhão (2006) dizem ser necessário o apoio, por parte dos taxonomistas, que possibilite a identificação das espécies de FMA, pois estudos de diversidade em todos os níveis e aspectos, dependem da discriminação das espécies presentes nas amostras.

A comunidade microbiana do solo representa um grande recurso por ser considerada um reservatório na dinâmica de nutrientes em diferentes ecossistemas e por participar do processo de sucessão vegetal e contribuir na estabilidade e diversificação de ecossistemas naturais (HEIJDEN *et al.*, 1998). A diversidade dos FMA ainda é pouco conhecida, sendo necessário avançar na investigação sobre a variabilidade morfológica, fisiológica e genética em FMA nos níveis de organização intra e inter específico (GIOVANNETTI e GIANINAZZI-PEARSON, 1994).

Heijden *et al.* (1998), enfatizam a importância da simbiose como um fator determinante na diversidade das plantas. A perda da diversidade de FMA em sistemas agrícolas pode favorecer a diminuição da diversidade das plantas e a produtividade e possibilita o aumento da instabilidade do ecossistema.

De acordo com Kennedy e Smith (1995), a diversidade de muitos ecossistemas após ser submetido a processos depredativos, como produção agrícola intensa, derrubadas de florestas pode sofrer considerável redução, resultando em erosão dos recursos da terra. Assim, a destruição dos habitats por ação antrópica considerada como a principal causa da extinção global de espécies, por possibilitar sérias consequências à diversidade biológica em diferentes níveis. Embora não seja regra há redução da diversidade dos organismos diante da perturbação do solo. Segundo Wardle e Giller (1997), a diversidade pode aumentar ou diminuir, sem que se tenha uma direção prevista. Este fato pode estar relacionado a susceptibilidade das diferentes espécies à perturbação sofrida (TILMAN, 1996).

Entre as diversas simbioses mutualistas estabelecidas por microrganismos e plantas, a formada por micorrizas nas raízes das plantas é seguramente a associação mutualista mais comumente encontrada em ecossistemas naturais e agrossistemas. Os FMA são considerados importantes componentes da biota do solo pela geração de inúmeros benefícios, de acordo com a eficiência simbiótica das MA, do sistema solo-planta, sendo a contribuição nutricional o mais evidente benefício das MA para as plantas (SIQUEIRA e SAGGIN-JÚNIOR, 1995).

Alguns fatores são considerados chaves no estabelecimento dos FMA e na geração de benefícios, proporcionados pela simbiose. A perturbação do solo pode causar impactos na micorrização, quanto às mudanças das condições do solo, da natureza dos propágulos do fungo e da cobertura vegetal presente (BRUNDRETT *et al.*, 1996). Assim, a infectividade de FMA em solos de vários ecossistemas pode ser diminuída pela perturbação do solo (JASPER *et al.*, 1994). Entre os fatores considerados chave no estabelecimento dos FMA destaca-se o grau de dependência micorrízica da planta e de condições ambientais, como pH e degradação do solo.

## 2.5 Fatores que afetam a formação micorrízica

### 2.5.1 Dependência micorrízica da planta hospedeira

A dependência micorrízica (DM) em relação às micorrizas arbusculares foi comprovada pela primeira vez no ano de 1972, através do histórico trabalho de Kleinschmid e Gerdemann, que observaram que plantas de limão só conseguiam se desenvolver em solos fumigados com brometo de metila quando adicionava os esporocarpos de *Glomus mosseae* (SAGGIN-JÚNIOR e SILVA, 2005).

Tendo o conhecimento já existente como base, de que a maioria das espécies vegetais pode crescer sem a presença de micorrizas, MA, neste caso com bastante fertilizantes, principalmente o fósforo (P), definiu-se pela primeira vez a DM, como sendo “*o grau que a planta depende da condição micorrízica para produzir seu máximo desenvolvimento e produção máxima, em certo nível de fósforo no solo*” (GERDEMANN, 1968; GERDEMANN, 1975; MOSSE *et al.*, 1973). A definição numérica deste parâmetro foi avaliada por Menge *et al.* (1978), como a proporção de biomassa de uma planta micorrizada e a não micorrizada.

Posteriormente, Janos (1980), estudando as plantas quanto à capacidade de formar micorrizas, redefiniu DM como “*a incapacidade da planta de crescer sem micorrizas em um determinado nível de fertilidade do solo*” e categorizou-as em micotróficas obrigatórias (não se desenvolvem sem a presença de fungos micorrízicos mesmo em solos de maior fertilidade), facultativas (podem sobreviver e desenvolver-se sem formar micorriza em determinadas condições de fertilidade do solo) e não micotróficas (não desenvolvem micorrizas). As plantas não micotróficas apresentam sistema radicular bem desenvolvido, com abundante quantidade de raízes finas e pêlos radiculares. A colonização nessas plantas é inibida devido à incompatibilidade genética, que impede o fungo de ultrapassar as primeiras camadas radiculares (ALLEN *et al.*, 2003).

Segundo Plenchette *et al.* (1983) *apud.*, Saggin- Júnior e Silva (2005), “*dependência micorrízica é o grau de dependência da planta ao fungo, para o desenvolvimento normal a um dado nível de fertilidade*”. Nos dias atuais, DM é uma característica herdável dependente, exclusivamente, do genoma da planta (HETRICK *et al.*, 1996 *apud.*, SAGGIN- JÚNIOR e SILVA, 2005).

A morfologia das raízes foi a primeira característica a ser relacionada com DM (BAYLIS, 1975 *apud.*, SAGGIN- JÚNIOR e SILVA, 2005).

Esta relação se tornou importante quando a planta cresce em ecossistemas temperados com alta fertilidade do solo. Portanto, para ecossistemas tropicais com baixa fertilidade a morfologia da raiz não é boa indicadora da DM das plantas, sendo recomendado a utilização das demais características genéticas, como exigência nutricional, taxa de crescimento, reserva de nutrientes da semente e abundância (SIQUEIRA e SAGGIN-JÚNIOR, 2001; JANOS, 1987 *apud.*, SAGGIN- JÚNIOR e SILVA, 2005).

Após avaliar inúmeros estudos de diferentes autores e realizar trabalhos sobre a DM, SAGGIN-JÚNIOR e SILVA (2005) concluíram que, aparentemente, as diferenças entre DM e respostas às micorrizas são sensíveis, embora estas diferenças tenham grande importância visto algumas características como competitividade e sobrevivência da planta após germinação, adaptação a novos ambientes após transplantes, estão ligadas a DM, enquanto que a produtividade após inoculação, dosagem de fertilizante e escolha do inoculante, estão relacionadas com as respostas à micorrização.

Diante disso, estes mesmos autores propõem uma nova redefinição para DM como sendo “o grau de necessidade da simbiose micorrízica que a planta apresenta, independente do nível de fertilidade do solo”, enquanto que resposta à micorriza “quanto que uma planta micorrizada cresce ou produz mais que plantas não micorrizadas, em virtude de seu estado simbiótico, em determinado nível de fertilidade”.

### **2.5.2 Influência do pH na distribuição de FMA**

Características químicas e físicas dos solos influenciam a composição de espécies de FMA, tendo a fertilidade do solo importância na distribuição e densidade de esporos de FMA de forma indireta, influenciando diferentemente o crescimento das plantas (DAY *et al.*, 1987). O pH é um dos mais influentes fatores para a ecologia na distribuição dos FMA, já que é muito variável o pH ótimo (3 a 10) para a colonização de raízes entre as espécies de FMA, exibindo, portanto grande plasticidade em relação a este importante fator (CLARK, 1997; LAMBERT *et al.*, 1980; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A distribuição dos FMA em relação ao pH, associado aos outros fatores do solo, contribuem para obter maior sucesso no manejo de solos degradados, onde prevalecem a compactação e a acidez (HAYMAN e TAVARES, 1985).

A acidez do solo interfere na colonização radicular, na produção e germinação dos esporos de FMA afetando a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas. Este fator pode contribuir consideravelmente na explicação da distribuição dos FMA nos solos (BARTOLOME-ESTEBAN e SCHENCK, 1994; HABTE, 1995).

Segundo Sylvia e Williams (1992), alguns isolados de FMA são eficientes em solos distintos, porém a maioria parece estar adaptada a valores de pH próximos ao do solo de origem. Alterações no pH e alumínio (Al) do solo são fatores de grande importância para a ecologia e distribuição dos FMA. Moreira e Siqueira (2006) verificaram que a germinação dos esporos *Glomus intradices*, *G. macrocarpum* e *G. mosseae* é reduzida à metade diante de elevada saturação por alumínio do solo por serem sensíveis à elevada acidez, enquanto que Habte (1995) verificou que o pH é um importante fator na regulação da germinação dos esporos e afirma que em solos alcalinos a germinação de *Glomus mosseae* é favorecida, concluindo que as espécies de *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora coralloidea* germinam melhor em pH 5 e 6 respectivamente, podendo ser um fator que influencia na distribuição dos FMA nos ecossistemas.

Lambert *et al.* (1980), observaram que em determinados ambientes os FMA nativos são mais efetivos que espécies introduzidas, possivelmente por estarem mais bem adaptados às condições prevalentes.

Siqueira (1994) observou que algumas espécies apresentam tolerância ou preferência a determinadas condições edáficas. As espécies *Glomus diaphanum* Morton e Walker, *Paraglomus occultum*, *Scutellospora* sp., *Gigaspora margarita*, *Acaulospora laevis* Gerdemann e Trappe, *Entrophospora colombiana* Spain e Schenck, predominam em condições de elevada acidez, já espécies como *G. mosseae*, *G. clarum* Nicolson e Schenck, *G. fasciculatum* Gerdemann e Trappe e *G. etunicatum* em solos com pouca acidez ou neutro, enquanto que espécies como *A. scrobiculata* Trappe, *A. morrowiae* Spain e Schenck, *G. agregatum* Schenck e Smith são indiferentes à acidez do solo.

Trufem (1995) encontrou 13 espécies do gênero *Acaulospora* em solos com pH entre 3,5 a 5,8 e sugeriu que essas espécies são mais adaptadas a tais condições, o que indica que os níveis de pH no solo das áreas estudadas favorecem sua ocorrência. Allen *et al.* (1998), em pesquisa realizada em uma floresta tropical decídua, no México e em área cultivada numa floresta tropical, na Costa do Marfim registraram a ocorrência de espécies de *Glomus* e *Acaulospora* em situação de baixo pH. Concordando com Stürmer (1999) que verificou que espécies de *Acaulospora* são mais frequentes em solos ácidos.

### 2.5.3 Importância dos FMA na recuperação dos solos degradados

O uso desordenado dos recursos naturais por ausência de planejamento adequado, tem contribuído significativamente para a degradação dos solos em todo território nacional ao mesmo tempo em que o Brasil busca sua independência mineral (FERREIRA, 2000a).

A microbiota do solo tem sido negligenciada como um importante aspecto no funcionamento do ecossistema, embora os microrganismos sejam altamente sensíveis à perturbação do solo (KENNEDY e SMITH, 1995). A degradação do solo é um tema que não deve ser tratado de forma pontual. De acordo com Barth (1989), a recuperação e ou reabilitação de áreas degradadas é um processo complexo que deve ser planejado com projeção para o futuro e ter um caráter multidisciplinar.

O uso dos recursos naturais de forma equilibrada, sem causar muita perturbação do solo e com o mínimo de impacto ambiental é hoje uma questão prioritária na manutenção do meio ambiente, por ser reconhecidamente necessário o manejo da natureza para o sustento e desenvolvimento do homem.

A degradação do solo produz impactos ecológicos e econômicos, devendo ser, portanto, avaliada e enfrentada com prioridade e seriedade. São inúmeras as causas da degradação e pode ocorrer em escala local, regional, nacional e global. É difícil a definição da caracterização do processo de degradação do solo, em determinadas situações.

Para a ciência do solo, a degradação está associada à perda da biodiversidade, diminuição da fertilidade do solo e interferência nos recursos hídricos, além da brusca alteração da paisagem (MENDES-FILHO, 2004). Assim, à medida que as características que determinam a qualidade de um solo forem alteradas, estabelece-se um processo de degradação (DIAS e GRIFFITH, 1998). Segundo o Manual de Diretrizes para Recuperação de áreas Degradadas - IBAMA (1990) a degradação ocorre “...quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico forem alterados, juntamente com a inviabilização socioeconômica da área”.

As funções e uso dos solos são baseados em fluxos de energia do sistema, portanto quando o solo perde ou reduz a energia do sistema pode estar ocorrendo a degradação deste. Este processo torna possível a distinção entre uma degradação natural daquela causada por atividades antrópicas (BLUM, 1998).

Quase todos os ecossistemas estão sujeitos a perturbações periódicas por eventos naturais, contudo, tendem a se recuperar naturalmente, o que permite aos ecossistemas adaptação às variações ambientais. Nos sistemas saudáveis, estas perturbações são temporárias, e sua recuperação é relativamente rápida. Já em ecossistemas em estresse antropogênico, é complexa a recuperação principalmente pela perda da biodiversidade, diminuição da resiliência e a redução da produção primária e secundária (MENDES-FILHO, 2004).

Quando o solo deixa sua condição natural, floresta ou campo nativo, e sofre ação antrópica, principalmente quando o solo sofre manejo em cultivo anual, ocorrem modificações nas características químicas, físicas e biológicas, sendo estas mais afetadas quanto maior a intensidade das alterações. De acordo com Toledo (2003); Lejon *et al.* (2005), o ambiente físico e químico e os organismos decompositores são os principais fatores que controlam os processos de transformação da matéria orgânica no solo (MOS) onde bactérias e fungos ocupam o topo em participação por apresentarem altos valores de biomassa e metabolismo respiratório.

As alterações na vegetação proveniente das atividades que degradam o ambiente podem promover modificações na capacidade infectiva dos FMA, especialmente daqueles que colonizam novas raízes a partir de hifas vegetativas, embora a ciência ainda não tenha conhecimento capaz de determinar conclusivamente a questão da heterogeneidade espacial da infectividade dos fungos micorrízicos ao longo da sucessão vegetal em um ecossistema (BOERNER, *et al.*, 1996).

Os FMA representam uma promissora ferramenta para ecossistemas em processo de revegetação, contribuindo para o sucesso no estabelecimento das plantas ao passo que favorecem a maior capacidade de absorção de nutrientes, manutenção da diversidade vegetal, participação na ciclagem de nutrientes, estabilidade do solo e melhorando a capacidade das plantas micorrizadas em competir por recursos (JASPER, 1994). Observações no padrão de sucessão de plantas em regiões semiáridas apontam que os FMA são ecologicamente importantes na composição e estabilidade das comunidades de plantas (MARX, 2000).

As MA são de ocorrência generalizada nos ecossistemas tropicais, mas ainda, pouco se conhece de seus benefícios para o funcionamento e estabilidade dos ecossistemas não perturbados e da essencialidade ou benefícios desta simbiose para o crescimento de espécies vegetais que compõem o ecossistema caatinga.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da Área em Estudo

##### 3.1.1 Localização

A área de estudo localiza-se no Parque Estadual Mata Seca – PEMS, no município de Manga, norte de Minas Gerais (Figura 5.). Apresenta uma área de 10.281,44 hectares e está localizada no Médio São Francisco entre os municípios de São João das Missões e Matias Cardoso (IEF, 2000), cujas coordenadas geográficas são de  $43^{\circ} 97' 02''$  S –  $14^{\circ} 64' 09''$  W e  $44^{\circ} 00' 05''$  S –  $14^{\circ} 53' 08''$  W.

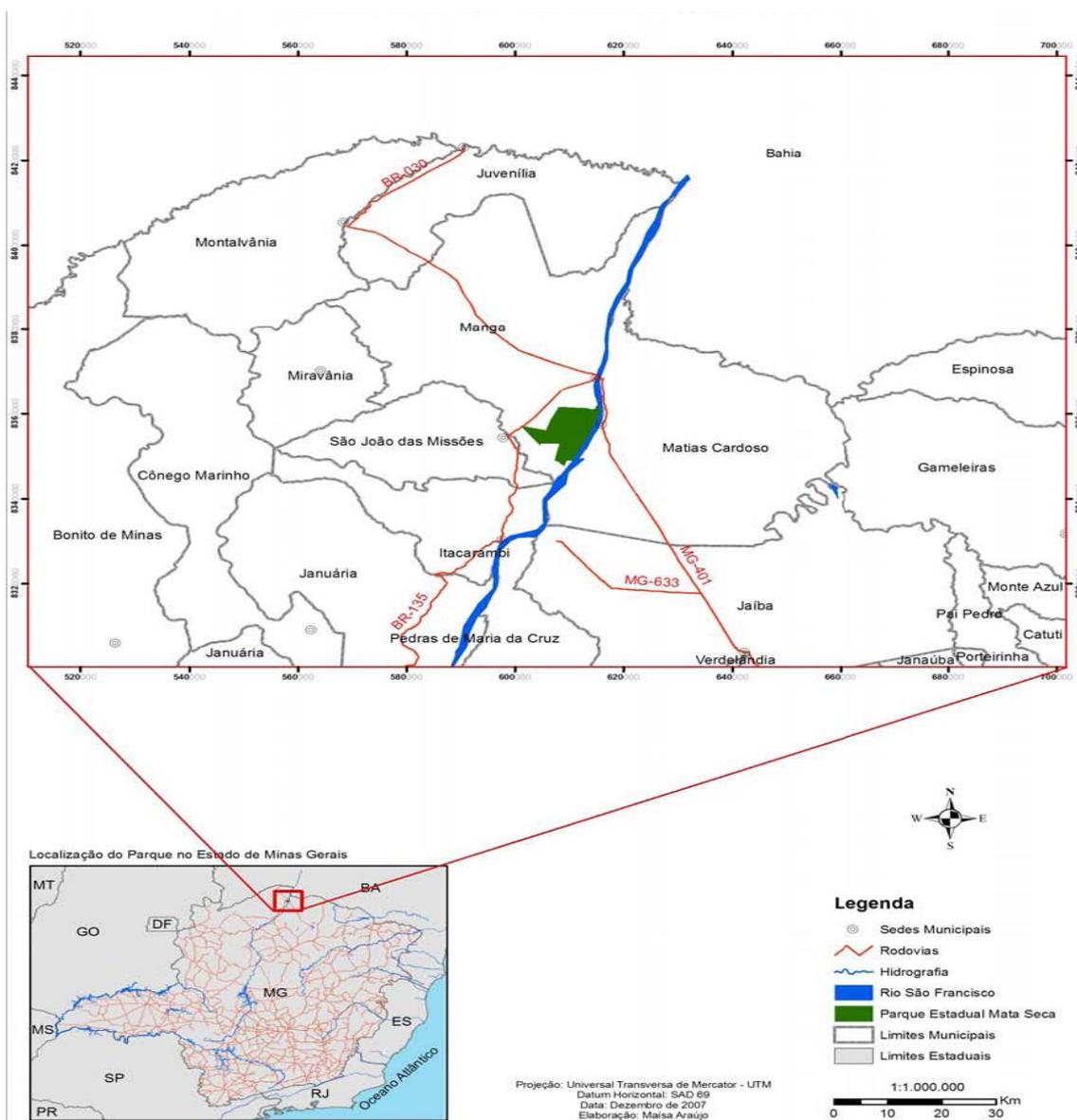


Figura 5 – Localização do Parque Estadual Mata Seca – PEMS

O PEMS está inserido no bioma caatinga, sendo as manchas de Floresta Decíduas de alto porte os principais bióticos do parque em diferentes graus de regeneração. As árvores das florestas decíduas perdem quase 100% de suas folhas no período das secas (maio - outubro).

As amostras de solo foram coletadas no mês de fevereiro de 2008 em diferentes estágios sucessionais da floresta: início de sucessão; intermediária e floresta preservada (sem registro de intervenção antrópica) e área de pasto. Em cada uma das áreas foram delimitados três espaços de 1000 m<sup>2</sup> para coleta de solo.

- Área de pasto: Toda a área é coberta por gramínea e está com aproximadamente 5 anos sem sofrer intervenção antrópica;
- Área de início de sucessão vegetal, com aproximadamente 8 anos em processo de regeneração espontânea;
- Área de intermediária sucessão vegetal, com aproximadamente 17 anos sem intervenção antrópica;
- Área tardia sem registro de intervenção humana.

### **3.1.2 Histórico da área**

As terras de 10.281,44 ha, ocupadas pelo Parque Estadual Mata Seca – PEMS, localizado ao Norte de Minas Gerais, no município de Manga são compostas por quatro fazendas. Em meados de 2007, o Instituto Estadual de Florestas – IEF em parceria com o Instituto de Terras de Minas Gerais, iniciou o pagamento das terras das unidades de conservação do Norte de Minas Gerais, pondo fim a uma espera de mais de dez anos.

O processo de regularização fundiária do PEMS encontrava-se até então parado em função de uma disputa judicial entre um dos proprietários e o IEF. Este ocorrido se deve ao fato do proprietário, detentor da maior área, não ter aceitado a proposta de indenização oferecida pelo IEF em 2007, por acreditar que as terras valiam mais que o valor oferecido pelo IEF. Os outros três proprietários já receberam o pagamento pelas terras e os limites do parque já foram georeferenciados pelo IEF/ITER.

No início dos trabalhos (fevereiro de 2008) ainda existia um sistema de irrigação por pivô central sendo usado para o cultivo de milho dentro dos limites do Parque e a presença de bovino.

O PEMS foi criado pelo Decreto 41.479 de 20 de Dezembro de 2000 visando proteger o ecossistema representado por fitofisionomias da caatinga, ameaçada pelas pressões antrópicas da região e resultou de uma condicionante ambiental que exigia a criação de uma unidade de conservação na margem esquerda do Rio São Francisco no Norte de Minas Gerais. Este evento se deu, quando o governo estadual propôs a criação da Etapa II do Projeto Jaíba no início dos anos 90. O governo estadual teve que atender a uma série de condicionantes ambientais determinadas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) e que reflete o amadurecimento das preocupações ambientais no âmbito da sociedade civil e o fortalecimento das instituições ambientais do Estado nas últimas décadas. A formação desta Unidade de Conservação tem sido um grande desafio enfrentado pelo poder público pela dificuldade de alocação dos recursos necessários para regularização fundiária da unidade e principalmente por ainda não ter regras estabelecidas eficientes a aplicação dos recursos.

O PEMS ainda enfrenta problemas relacionados à comunidade do entorno pelos frequentes desmatamentos com queimadas, principalmente próximo às margens do Rio São

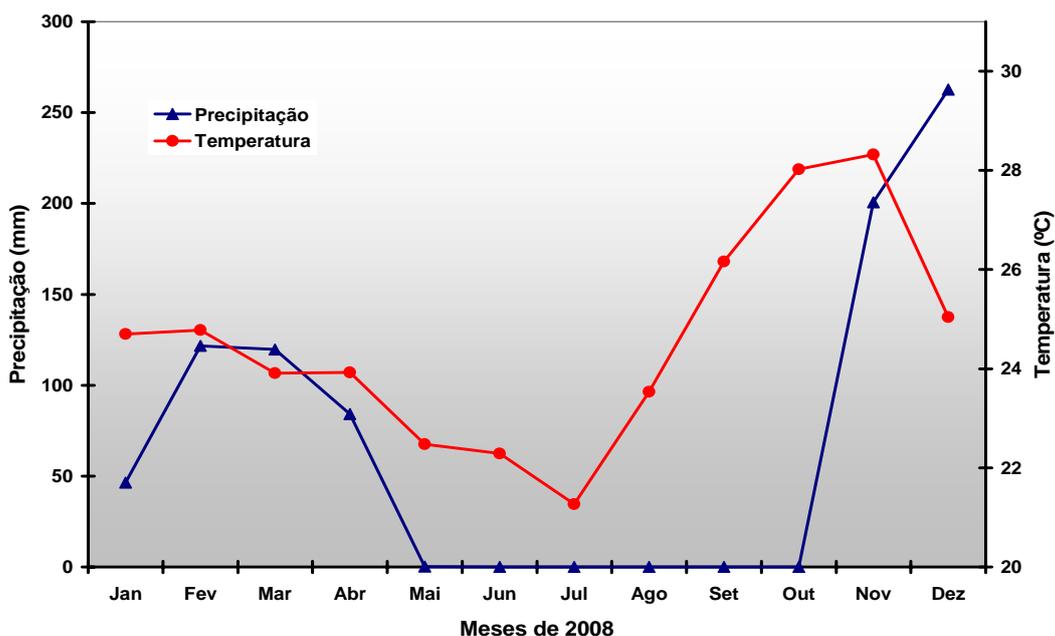
Francisco para a prática da agricultura de vazante e também para a pecuária, caça, pesca predatória dentro do parque e no seu entorno.

Por não se ter ao certo quando estas questões fundiárias estarão solucionadas, visto que os trâmites judiciais muitas vezes são lentos, a definitiva implantação do PEMS fica ameaçada, permitindo assim que as pressões antrópicas continuem a comprometer a biodiversidade existente no parque. Estas ameaças estão além dos limites do PEMS, se estendem às Matas Secas e florestas estacionais decíduais no Norte de MG pelo conflito de interesse de diversos seguimentos entre eles, comunidades tradicionais, pecuaristas, carvoeiros e poder público.

### 3.1.3 Clima e solo

De acordo com a classificação de Köppen, grande parte do Norte de Minas Gerais, incluindo o município de Manga e grande parte da região apresenta o clima do tipo Aw, que também pode ser definido como tropical úmido, caracterizado pela estação seca bem acentuada no período de inverno, com precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm, e temperatura média anual variando de 24°C a 26°C. A temperatura média máxima anual é de 32°C, enquanto que a média mínima anual está em torno de 18,5°C e a pluviosidade média anual de 660 mm (ANTUNES, 1994; SIMGE, 2008) (Figura 6.). Para o Instituto de Desenvolvimento Industrial de Minas Gerais – INDI (2006), o clima de Manga pode ser considerado como quente. No tocante às precipitações, a pluviosidade média anual de Manga é de 916 mm. No entanto, deve-se ressaltar que essas chuvas são irregulares e concentradas nos meses de verão, o que faz com que o município esteja incluído no Polígono das Secas.

O balanço hídrico para Manga, é de aproximadamente 100 mm a capacidade de retenção de água no solo. Conforme esse balanço hídrico, a evapotranspiração potencial anual de Manga está em torno de 1290 mm e o déficit hídrico em 460 mm aproximadamente. Essa deficiência permanece praticamente durante todo o ano, apresentando maior intensidade no período seco que vai de junho a outubro (EPAMIG,1990; ANTUNES,1994).



**Figura 6.** Médias de temperatura (°C) e precipitação (mm) de janeiro a dezembro de 2008 do Município de Manga, MG.

O clima da região é marcado por um índice pluviométrico relativamente baixo. Podendo-se constatar que o grau de intemperização e dissecação das rochas é menos intenso, fazendo com que a pedogênese nos dias atuais seja mais lenta.

De acordo com o mapeamento apresentado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, as principais classes de solos da região de Manga são os Latossolos Vermelhos distróficos, os Latossolos Amarelos Distróficos, os Neossolos Flúvicos Eutróficos, os Cambissolos Háplicos Eutróficos e os Neossolos Quartzarênicos Eutróficos. E ainda Neossolos Litólicos associados aos afloramentos calcários.

Os Neossolos Litólicos são pouco desenvolvidos e se caracterizam pela presença do horizonte A assentado diretamente sobre um horizonte C pouco espesso, e estão associados às Florestas Estacionais de Afloramento calcário e também nas depressões alagáveis. (IBGE, 2007). Os Latossolos de uma maneira geral são profundos, acentuadamente drenados, possuem saturação de base baixa, saturação de alumínio extraível elevada e estão associados a um relevo relativamente plano com superfícies onduladas recobertas por depósitos de origem coluvial (EPAMIG,1990). Nesse sentido, é importante ressaltar que a influência das condições geológicas e geomorfológicas sobre a gênese e características morfológicas dos solos do Norte de Minas são muito visíveis, haja vista que a expressiva presença de sedimentos coluvionares explica o fato dos Latossolos da área serem bastante arenosos, comprovando que algumas características morfológicas como a textura e a porosidade também estão relacionadas às rochas da região. No tocante à gênese, os terrenos planos como os que ocorrem em Manga justificam a ocorrência dos Latossolos.

A maioria dos rios da região é intermitente, devido às condições climáticas. Os Rios São Francisco, Itacarambi, Japoré e Carinhanha são os principais rios perenes, mas que apresentam um regime de cheias e vazantes determinadas pela estacionalidade do clima regional.

A área de estudo e também grande parte do Norte de Minas Gerais se inserem na Bacia do São Francisco que apresenta 37% de sua área de drenagem dentro do Estado de Minas Gerais (CETEC, 1983).

O principal rio da área de estudo é o São Francisco que nos limites do Parque Estadual Mata Seca apresenta quatro lagoas marginais: Lagoa da Picada, Lagoa Comprida, Lagoa do Angical e a Lagoa da Prata. De acordo com Pompeu (1997), as lagoas marginais são corpos hídricos que ficam isolados nas planícies de inundação após o período de cheias. Este mesmo autor diz que na bacia do São Francisco, as lagoas marginais constituem-se o principal criadouro das espécies de piracema, que são as mais importantes para a pesca comercial e esportiva. A importância das lagoas para os peixes torna esses ambientes críticos para a conservação.

## **3.2 Avaliação da Fertilidade do Solo**

### **3.2.1 Amostragem**

Para coleta das amostras de solo, em cada uma das áreas foram delimitadas parcelas de 1000m<sup>2</sup> com três repetições para cada área estudada. Os locais de coleta foram georeferenciados por um Global Position System (GPS) pelo Sistema Cartográfico Nacional de localização terrestre, baseado nas coordenadas métricas através da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) que tem os eixos cartesianos de origem no Equador, latitude entre 80<sup>0</sup> Sul a 84<sup>0</sup> Norte e longitude com fusos de 1 a 60<sup>0</sup>, começando a contar do antimeridiano de Greenwich (-180<sup>0</sup>) sentido oeste/leste (Tabela. 2). As amostras foram coletadas com auxílio de uma enxada, na profundidade de 0 - 10 cm. Foram coletadas seis

amostras simples que misturadas resultaram em três amostras compostas por área. Os procedimentos de análises químicas e físicas foram conduzidos na Embrapa Solos no Rio de Janeiro e a análise granulométrica e a quantificação do C.org, Ca, Mg, P, K e Al foi realizada com terra fina seca ao ar (TFSA), segundo EMBRAPA (1997).

**Tabela 2.** Pontos georeferenciados em sistema de coordenadas Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM) métrico e cartesiano dos locais de coletas das quatro áreas estudadas.

Pasto		Inicial		Intermediária		Tardia	
x UTM	y UTM	x UTM	y UTM	x UTM	y UTM	x UTM	y UTM
612380,073	8358183,539	606711,633	8358082,945	609652,038	8358244,722	608766,194	8358161,657
612419,451	8358022,549	606792,833	8358105,418	609514,180	8358195,808	607832,593	8358122,315
612761,156	8357680,346	607115,518	8358103,061	610047,531	8357992,331	611116,454	8358295,975

### 3.3 Avaliação da ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares, micélio externo e glomalina.

#### 3.3.1. Amostragem

Para a coleta das amostras de solo, em cada área de estudo, foram utilizados os mesmos limites de área para análise de solo (três áreas de 1000m<sup>2</sup>). Destas, foram coletadas 27 amostras simples, com o auxílio de uma enxada sendo coletado aproximadamente 1500g de solo na profundidade de 0-10 cm. Estas foram homogeneizadas de três em três amostras simples. Foi recolhido aproximadamente 1500g de amostra composta de solo e o restante foi devolvido para as covas de origem. Ao final foram coletadas nove amostras compostas por área estudada (Figura 7.).



Foto: Veralu Santos

**Figura 7.** Amostras de solo coletadas nas quatro áreas de estudos no Parque Estadual Mata Seca.

### 3.3.2 Extração dos esporos e preparo das lâminas

Os esporos foram extraídos de 50 cm<sup>3</sup> de solo de cada amostra seguindo a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN e NICOLSON, 1963), utilizando um jogo de peneiras com malha de 38 µm, seguida por centrifugação em água e posteriormente em sacarose a 45% (DANIELS e SKIPPER, 1982). A contagem foi feita em placa com anéis concêntricos, com auxílio de estereomicroscópio (40x). Na seqüência, os esporos foram transferidos para uma placa de Petri e uma quarta parte do total dos esporos foi separada aleatoriamente. Estes foram separados pelas características de tamanho, cor e forma, e colocados em lâminas com álcool polivinil em lactoglicerol (PVLG) sob uma lamínula. Na mesma lâmina, foi colocado um segundo grupo de esporos com reagente de Melzer e quebrados delicadamente, sob uma lamínula, para exposição das paredes internas. Os resultados da reação de cor ao reagente de Melzer foram utilizados para caracterizar as paredes dos esporos, melhorando, em alguns casos, a visibilidade, especialmente daqueles esporos com paredes aderentes ou muito finas. As fotomicrografia de alguns esporos sob lamínulas, foram feitas com o auxílio do microscópio Zeiss, modelo Standard 25, com sistema de captura composto por câmera Moticam 2.0 M Pixel USB 2.0 e software Motic Images Plus 2.0.

### 3.3.3 Identificação das espécies de FMA

As espécies de FMA das amostras foram identificadas segundo análise morfológica clássica com o auxílio do manual de identificação de Schenck e Perez (1990) e segundo trabalhos de descrição das espécies identificadas após esta data e disponibilizados na página eletrônica International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM). As observações das características taxonômicas foram feitas em microscópio ótico com iluminação de campo-claro e objetiva de imersão. Os esporos foram identificados de acordo com a análise morfológica clássica. Os caracteres taxonômicos incluíram: número e tipo de camadas das paredes dos esporos e sua reação ao reagente de Melzer; características das paredes internas, quando presentes; morfologia da hifa de sustentação do esporo; e variação da cor e tamanho dos esporos.

### 3.3.4 Quantificação de micélio externo (ME)

Cada área estudada foi amostrada a partir de 3 amostras compostas formadas a partir de 9 amostras simples coletadas na profundidade de 0-10 cm dentro das mesmas áreas de 1000 m<sup>2</sup>.

A quantificação da biomassa de micélio extra-radicular total no solo (BMET) foi feita, segundo metodologia descrita por (GIOVANNETTI e MOSSE, 1980) modificado por (HERRERA *et al.*, 1986). As amostras foram secas ao ar e peneiradas através de malha 2 mm. 100 g de cada amostra de solo foi coberta com 40 mL de uma solução aquosa de peróxido de hidrogênio a 1,5% durante 1 hora. Após este período a amostra foi lavada em água e destorroada com o auxílio dos dedos e passando o sobrenadante em peneiradas sobrepostas com malhas de 140 e 40 µm de diâmetro. O filtrado retido em cada peneira foi agitado em um liquidificador doméstico com 750 mL de água de torneira comum, agitado por 30 minutos a 500 gravidades (primeira velocidade) para o material da peneira de malha 140 µm. O mesmo processo foi feito para o material retido na segunda peneira de malha 40 µm, sendo este agitado por 1 minuto a 10000 gravidades (segunda velocidade). O material retido em cada peneira foi filtrado a vácuo com o uso do funil de Buchner. No fundo do funil, sobre a placa

perfurada foi adaptado o disco de papel filtro molhado, aderido devido à sucção efetuada com o auxílio de uma trompa de vácuo e Kitassato.

Em seguida, o material retido no papel filtro foi colocado para secar ao ar, à sombra em temperatura ambiente por três dias. Após este período, foi peneirada em malha de 500 µm e anotada a descrição da malha de cada peneira seguida de anotação da massa de cada material. Portanto, 140 e 40 µm são discriminados pela passagem através da peneira de 500 µm. Desta forma, três frações foram identificadas: A = > 500 µm e < que 2 mm; B = 140 para 500 µm; e C = 40 para 140 µm.

Na sequência, aproximadamente 40 mg de cada fração B e C foram cuidadosamente distribuídos sobre a projeção de um quadrado de 22 x 22 mm de dimensão em lamina de vidro. Foi adicionada ao material uma gota de glicerol para facilitar a visualização no microscópio óptico e cuidadosamente sobreposto por uma lamínula de igual dimensão. Foram avaliados 100 interseções de 1,27 cm (0,5”) sendo todas as interseções com quatro linhas imaginárias sobre a lamínula (duas verticais e duas horizontais). As quatro linhas foram vistas em comprimento e profundidade de modo que toda a camada de material sob a lamínula foi verificada. O valor médio do material obtido para as quatro linhas foi multiplicado por 0,000745 que permite estimar a massa (mg) de micélio externo na alíquota. Este fator de correção (0,000745) foi estimado pela multiplicação do total de linhas (20 linhas) no 22 x 22mm lamínula pelo valor de um cruzamento (1,57) e dividido o produto pelo comprimento de hifas presentes em 1 mg de micélio externo (42 146,26 mm). A extrapolação das médias de massa de ME resulta no total de 100g de solo (massa original das amostras de solo).

$$0,000745 = \frac{20 \text{ linhas} \times 1,57 \text{ mm}}{42 \ 146,26 \text{ mm}^*}$$

\* long 1 mg de micélio

### 3.3.5 Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG)

A extração da PSRG, denominadas neste trabalho de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT), foi realizada pela técnica de microtitulação de Bradford (1976) modificada por Wright e Upadhyaya (1998), que determinaram os valores da GFE e GT.

Para a extração de cada uma das frações foram utilizadas amostras de um grama de terra fina seca ao ar (TFSA).

As amostras foram depositadas em tubos plásticos de 15 mL próprios para autoclavagem e centrifugação, onde foram adicionados 8 mL de solução extratora de citrato de sódio 20 mM a pH 7,4. As amostras foram agitadas e então submetidas à autoclavagem a uma temperatura de 121 °C, por 30 minutos, e em seguida centrifugadas a 7350g (5000 rpm) por 15 minutos. O extrato sobrenadante foi cuidadosamente recolhido e medido com auxílio de pipeta e conservado em geladeira até o procedimento de microtitulação e leitura.

Para a extração de GT, utilizou-se a metodologia descrita acima, com as seguintes modificações: a concentração da solução extratora de citrato de sódio utilizada foi de 50 mM, a pH 8,0; autoclavagem a 121 °C por 60 minutos; e foram conduzidos diversos ciclos de autoclavagem e centrifugação até a remoção completa de toda a proteína da amostra – ou seja, quando ao final da centrifugação o extrato apresentasse a coloração amarelo claro, sendo considerado o final da extração. Para a extração desta fração, foram necessários entre 7 a 14 ciclos até que atingisse a coloração amarelo claro.

Para a microtitulação, utilizou-se microplacas de acrílico com 96 microcélulas de 250 µL. Inicialmente foi estabelecida uma curva padrão entre quantidades de proteína e valores de

densidade óptica, tomando-se o soro albumina bovina (BSA) como proteína purificada. Em seguida, adicionou-se solução tampão salino-fosfatada (PBS) e Reagente de Bradford.

A quantificação da glomalina foi realizada pelo método Bradford (1976) modificada por Wright *et al.* (1996), disponível na página eletrônica [www.usda.gov](http://www.usda.gov), usando como padrão soro-albumina bovina (BSA). As concentrações da glomalina, para ambas as frações, foram corrigidas para  $\text{mg g}^{-1}$  de solo, considerando o volume total de sobrenadante e peso de amostra de solo seco.

### 3.3.6 Análise Estatística

Para o estudo das alterações de propriedades edáficas foram feitas análises estatísticas dos dados, considerando o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos (pasto, início de sucessão, intermediária e tardia) em três repetições.

Para os resultados das propriedades químicas e físicas do solo, para cada profundidade (0 a 10 cm) foi feita avaliação da homogeneidade das variâncias dos erros pelo programa estatístico SAEG-5.0 (Sistema de Análise Estatísticas) (GOMES, 1992), Teste de Cochran. Posteriormente os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste Scott Knott a 5 % de probabilidade. Foi utilizado para estas análises, o programa SISVAR (FERREIRA, 2000b). As variáveis K, Na e Al das propriedades químicas que não corresponderam positivamente ao teste de homogeneidade e ou variância foram submetidos ao teste não paramétrico de Krsuskal-Wallis a 5% de probabilidade e as variáveis Mg, N e P foram transformados em  $\log(x+1)$  para minimizar a variância.

Os testes para avaliação da homogeneidade dos erros, seguido das análises de variância com aplicação do testes Scott Knott a 5% de probabilidade, também foram utilizados para avaliar o número médio de esporos e de espécies e gêneros de FMA, micélio e glomalina. Foi calculada a média das espécies de FMA e a frequência de ocorrência relativa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação das Características químicas e físicas do Solo

As características químicas do solo das áreas estudadas estão descritas nas tabelas 3 e 4. Os teores de Carbono orgânico (C.Org.) no solo variaram ( $13.33 \text{ g kg}^{-1}$ ) a ( $21.77 \text{ g kg}^{-1}$ ) e os teores mais elevados de C.Org foram observados na área inicial e tardia, quando comparados com a área de pasto e intermediária (Tabela 3.). O teor de carbono e a biomassa microbiana são influenciados pelo manejo do solo (CATTELAN e VIDOR, 1990). O índice que indica as alterações em ecossistemas com interferência antrópica é a relação carbono microbiano/carbono orgânico. Sendo observada a maior sensibilidade da biomassa a mudanças iniciais do conteúdo de carbono (INSAN e DOMSCH, 1988).

De acordo com Santos e Muraoka (1997), a baixa atividade microbiana, pode ser ocasionada pelo maior acúmulo de C.Org. Entretanto Carvalho (2005) aponta o teor de argila dos solos como um fator influenciador na biomassa microbiana. O alto teor de argila nos solos apresenta maior imobilização de carbono e nitrogênio; aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, proporcionando maior capacidade tampão e protege os microrganismos de predadores.

Os valores mais elevados de Ca e pH também foram verificados nas áreas (pasto, inicial e tardia). Esses dados refletem, de certo modo, a tolerância do fungo micorrízico arbuscular do gênero *Scutellospora* (ocorreu em menores percentuais na área inicial e tardia); gênero *Gigaspora* (não apareceu nas amostras de solo das áreas de pasto e tardia) e o gênero *Acaulospora* ocorreu em maior quantidade percentual na área intermediária (Figura 9.). Resultado semelhante foi encontrado por Stürmer (1999) e Trufem (1995) que constataram que o gênero *Acaulospora* predomina em solos ácidos.

Para Siqueira e Franco (1988), a germinação dos esporos de FMA está relacionada ao pH do meio com os gêneros *Gigaspora*, *Scutellospora* e *Acaulospora*, preferindo pH na faixa de 4,0 a 6,0. Este resultado está de acordo com estes autores, que verificaram que FMA do gênero *Scutellospora*, *Gigaspora* e *Acaulospora* preferem elevada acidez. Os mesmos autores verificaram que o gênero *Glomus* prefere pH entre 6,0 a 8,0. Estes resultados também corroboram com o encontrado neste estudo quanto a menor quantidade percentual do gênero *Glomus* na área intermediária que apresenta o menor pH (5.06), enquanto que nas demais áreas estudadas o valor encontrado foi dentro da faixa ótima de pH para este gênero.

O pH mais ácido encontrado na área intermediária (5.06) pode estar relacionado à concentração de Alumínio (Al) quando comparada às demais áreas, que não apresentaram presença de Al, embora não tenha havido diferença estatística entre as áreas pelo teste aplicado (Tabela 4.). A ausência deste elemento nas amostras de solo das demais áreas estudadas pode ser devido aos valores de pH (6.43 a 7.03), terem contribuído para a redução de solubilidade do Al e auxiliando no desenvolvimento da microbiota.

Souza *et al.* (2003), relataram que em áreas de caatinga nativa, a maior ocorrência das espécies das famílias Acaulosporaceae e Glomeraceae foram registradas em solos com baixo pH, em torno de 5.8. No entanto, Silva *et al.* (2005) verificaram que algumas espécies de Glomeraceae como *Glomus sp* e *Paraglomus occultum* ocorreram em pH neutro, em torno de 7.0.

Nobrega *et al.* (2001) observaram que a inoculação com *Glomus etunicatum* são variáveis de acordo com o tipo de solo e espécie vegetal. Estes autores realizaram experimento em MG, onde foram testados solos: Latossolo Vermelho Distrófico (LVD) e Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) em diferentes doses de fósforo (P), no cultivo de braquiária, inoculados com *Glomus etunicatum*. Observaram que a braquiária cultivada em

LVdf com 30 mg kg<sup>-1</sup> de P, proporcionou aumento de 3,25 mm de Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e ocorrência de colonização enquanto que em concentração maior de P (300 mg kg<sup>-1</sup>) houve menor DMG e não ocorreu colonização. Estes dados estão de acordo com os resultados obtidos em Mata Seca no Parque Estadual Mata Seca (PEMS), onde o solo da região é Latossolo e a área de pasto foi a que apresentou a maior concentração de P, diferindo significativamente das demais áreas (Tabela 3.) e é a única área onde foi recuperado o *Glomus etunicatum* (Tabela 6.).

**Tabela 3.** Propriedades químicas do solo das quatro áreas estudadas: pasto (1), inicial (2), intermediária (3), tardia(4) na profundidade de 0-10 cm.

Área	Propriedades químicas do solo profundidade (0-10 cm)								
	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	H	N	P	C,Org,	V(%)	C/N
		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		
1	6,43 a	6,56 b	0,46	1,90 b	0,21 c	1,89 a	13,33 c	84,00 a	8,33
2	7,03 a	9,73 c	0,48	0,87 b	0,40 a	0,62 b	21,77 a	93,67 a	8,67
3	5,06 b	1,96 a	0,35	3,63 a	0,29 b	0,30 b	17,60 b	42,33 b	9,00
4	6,63 a	6,67 b	0,34	1,93 b	0,41 a	0,46 b	21,20 a	82,67 a	8,33

\*Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade

**Tabela 4.** Propriedades químicas do solo das quatro áreas estudadas (pasto, inicial, intermediária, tardia) na profundidade de 0-10 cm.

Área	Propriedades químicas do solo profundidade (0-10 cm)		
	K	Na	Al
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>		
Pasto	1,32a	0,04	0,00
Inicial	0,42 ab	0,01	0,00
Intermediária	0,16 b	0,01	0,57
Tardia	0,36 ab	0,01	0,00

\*Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Krsuskal-Wallis a 5% de probabilidade.

Segundo Day *et al.* (1987), as características químicas e físicas dos solos afetam a densidade de esporos, a composição de espécies e a distribuição dos FMA, influenciando diferentemente o crescimento das plantas.

Diniz (2006), concluiu que em baixas doses de P, as espécies *Mimosa acutistipula* Benth. “jurema”, *Caesalpinia ferrea* Mart. “jucá” e *Piptadenia macrocarpa* Benth.”angico”, apresentaram maior responsividade às comunidades de FMA. Em geral o *Glomus etunicatum* foi à espécie micorrízica mais eficiente em relação às espécies arbóreas na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), acúmulo e concentração de N e P; o aumento das doses de P promoveu incrementos na produção de MSPA, acúmulo e concentração de N e P, contudo diminuiu a eficiência da inoculação. As maiores percentagens de colonização micorrízica foram encontradas nas mudas de Jucá e Mororó inoculadas com Comunidade indígena e *G. etunicatum*, respectivamente.

Para Ramos-Zapata e Guadarrama (2004), as espécies de *Glomus* são comuns em áreas perturbadas ou em recuperação e esporulam mais nessas áreas do que em mata nativa

em clímax, menos perturbada. Contudo, a capacidade de esporulação dos FMA também está relacionada com a planta hospedeira.

**Tabela 5.** Granulometria das áreas de pasto; inicial; intermediária e tardia em Mata Seca, Norte de Minas Gerais na profundidade 0-10 cm.

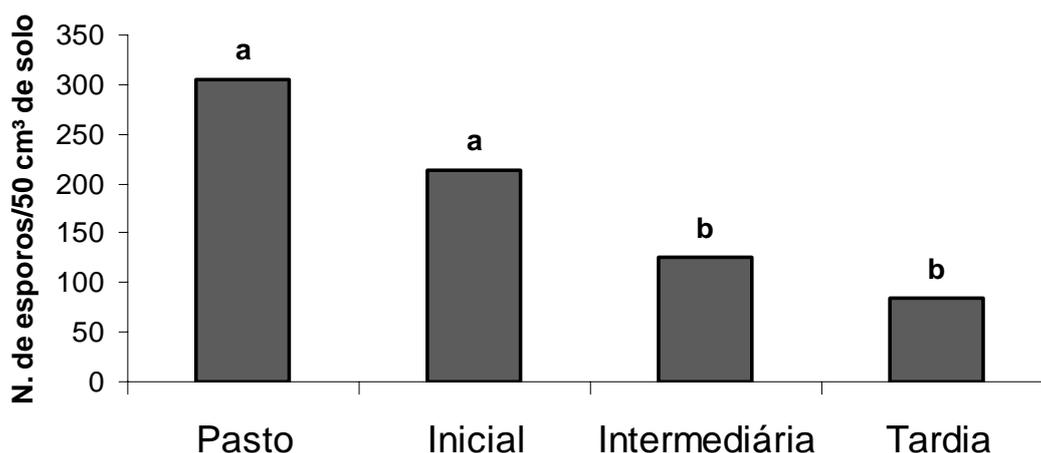
Área	Areia	Silte	Argila	AN	GF	CT
	-----gKg <sup>-1</sup> -----			%		
<b>Pasto</b>	382	285	333	300	10	franco-argilosa
<b>Inicial</b>	511	189	300	240	20	franco-argilo-arenosa
<b>Intermediária</b>	471	149	380	260	32	argilo-arenosa
<b>Tardia</b>	433	207	360	287	20	franco-argilosa

AN= Argila natural; GF= grau de flocculação; CT= classe textural

## 4.2 Fungos Micorrízicos Arbusculares – FMA

### 4.2.1 Número de esporos e de espécies de FMA

O número total de esporos de FMA recuperados neste estudo foi de 6555 em 450 cm<sup>3</sup> por área estudada. A abundância de esporos de FMA nas diferentes áreas apresentou uma variação de 37 a 640 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo, sendo encontrada a maior média de 305 na área de pasto e a menor com 85 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo na área de sucessão tardia (Figura 8.).



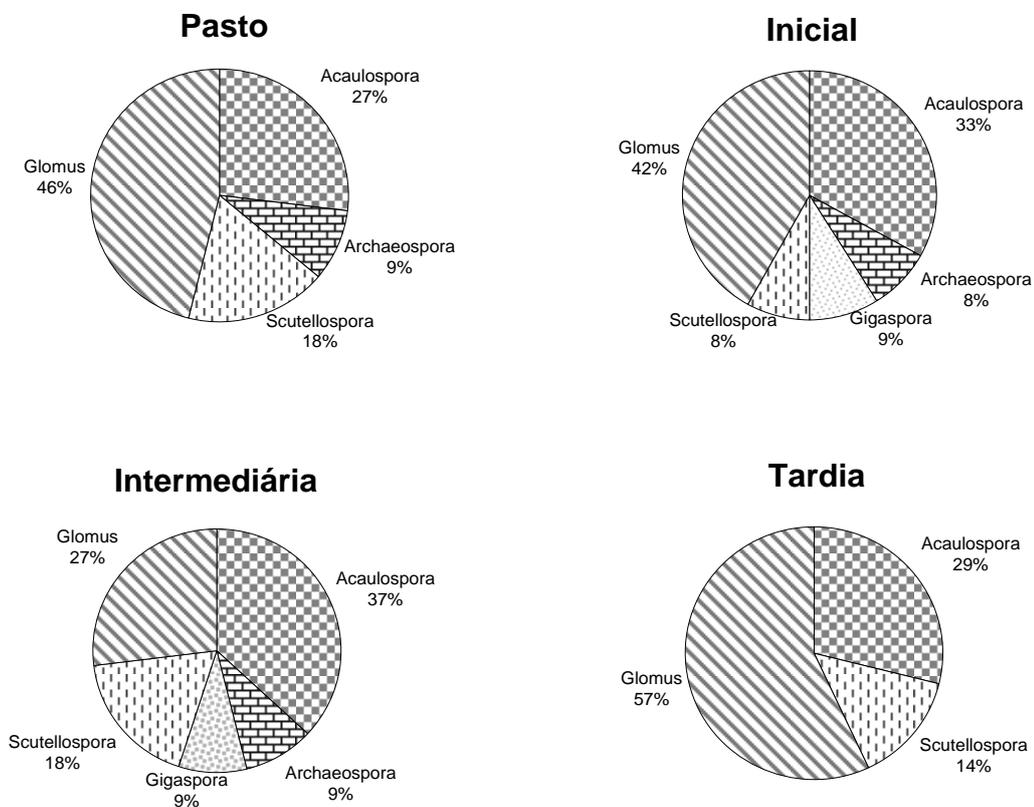
**Figura 8.** Número médio de esporos de FMA.50 cm<sup>3</sup> de solo na área de pasto e as diferentes sucessões vegetais. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%.

As áreas de sucessão intermediária e tardia apresentaram menores médias de número de esporos por 50 cm<sup>3</sup> e diferiram significativamente das áreas de pasto e inicial, não apresentando diferenças estatísticas entre si (Figura 8.).

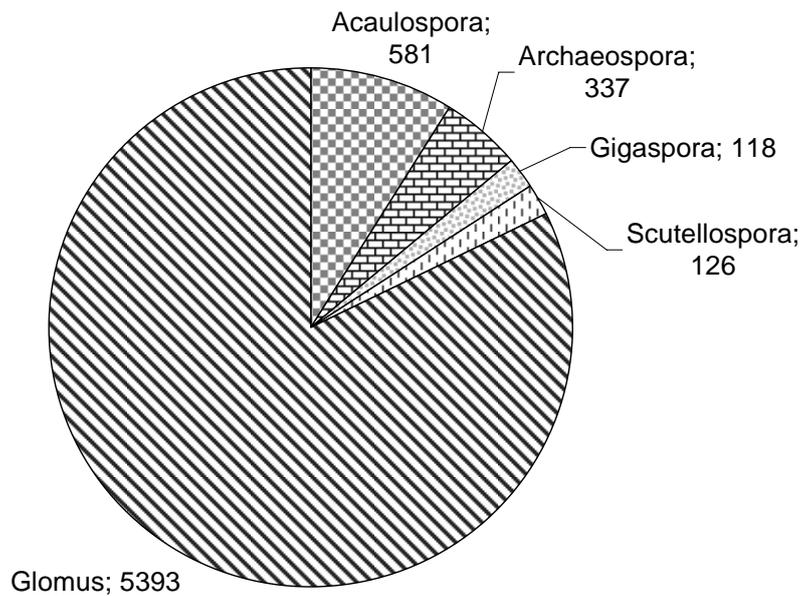
Como a formação de raízes vegetais finas de espécies hospedeiras estimula a esporulação dos FMA (SIEVERDING, 1991), é possível que a área de pasto e de sucessão vegetal inicial, por apresentarem gramíneas (*Panicum maximum*) como cobertura vegetal, sendo dominante no pasto e permeada por gramíneas na área inicial, tenha favorecido este resultado. Estes resultados corroboram os de Silva (2009), que avaliando a abundância de esporos em uma área de cava de extração de argila, encontrou maior quantidade de esporos na área de vegetação espontânea em presença de gramíneas.

Entre as hipóteses apresentadas por Picone (2000) para o fato de algumas espécies de FMA produzirem mais esporos em área de pastagem em comparação com a floresta nativa: 1) a condição da planta hospedeira (morte ou senescência) pode induzir a esporulação. Devido ao pastejo, com ciclo curto de vida da planta, fogo e período de estiagem, a senescência e a morte dos hospedeiros nas pastagens são mais frequentes quando comparados a vegetação hospedeira nas florestas, podendo aumentar a abundância de esporos; 2) as pastagens apresentam maior densidade de raízes finas em relação à floresta. Desta forma, a quantidade de esporos pode aumentar em função da disponibilidade e produção destas raízes; 3) a esporulação depende do hospedeiro que pode determinar a abundância relativa de esporos.

O gênero *Glomus* esteve presente em maior percentual na área de sucessão tardia com 57% e em menor na área de sucessão intermediária com 27%, enquanto que o gênero *Acaulospora* aparece em maior percentual na intermediária com 37% e menor percentual na área de pasto com 27% (Figura 9.). Além disso, observamos que os esporos do gênero *Glomus* predominaram amplamente dos demais gêneros ocorridos nas áreas estudadas (Figura 10.).

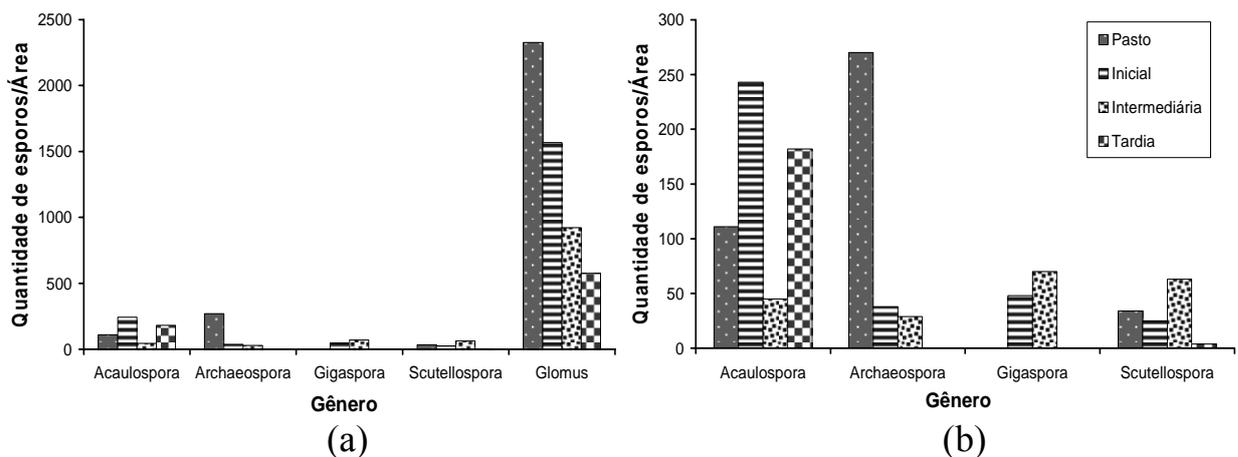


**Figura 9.** Percentual de espécies relacionadas aos gêneros de FMA, identificados nas amostras de solo da área de pasto e das três diferentes sucessões vegetais.



**Figura 10.** Abundância de esporos apresentados por gêneros de FMA, Identificados nas amostras de solo da área de pasto e das três diferentes sucessões vegetais.

Verificando a quantidade de esporos por gêneros de FMA presentes em cada área de estudos (Figura 11), observamos que o gênero *Glomus* apresenta maior ocorrência em todas as áreas (Figura 11a.). Para uma melhor visualização dos demais gêneros apresentamos a (Figura 11b.) excluindo o gênero *Glomus*.



**Figura 11.** (a) Quantidade de esporos por gêneros de FMA presentes nas áreas de estudo (pasto; inicial; intermediária e tardia). (b) Destaque aos gêneros: *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora* (excluindo o *Glomus*).

O gênero *Glomus* possui 107 espécies, forma vesículas e a germinação, se dá através da hifa de sustentação. O gênero *Acaulospora* apresenta 33 espécies, apresenta formação de vesículas e a germinação se dá através da parede do esporo. Segundo STÜRMER e SIQUEIRA (2006), algumas espécies apresentam separação quanto a categoria de ocorrência de suas espécies como: generalistas; intermediárias e raras. O gênero *Scutellospora* apresenta 33 espécies, possuem células auxiliares e a germinação é através da parede do esporo. O gênero *Archaeospora* apresenta uma espécie e esta não possui vesícula e nem tampouco célula auxiliar e a germinação ainda é desconhecida. O gênero *Gigaspora* possui oito espécies, apresentam células auxiliares e a germinação se dá através da parede do esporo.

Foram identificadas 19 espécies de FMA, pertencentes aos gêneros *Acaulospora* (7), *Glomus* (7), *Scutellospora* (3), *Gigaspora* (1) e *Archaeospora* (1) e quatro famílias de FMA pertencentes a três ordens de FMA, nas áreas de caatinga amostradas dentro do Parque Estadual Mata Seca no norte de Minas Gerais (Tabela 6.).

As espécies de FMA encontradas nas áreas de estudos em ordem crescente de frequência relativa de ocorrência foram: *G. macrocarpum* > *G. tortuosum* > *A. scrobiculata* > *S. pellucida* > *Gigaspora sp.* > *Ar. leptoticha* = *A. denticulata* = *G. claviformis* > *A. tuberculata* > *G. lamellosum* > *G. etunicatum* > *A. foveata* = *S. heterogama* = *G. formosanum* > *A. delicata* = *A. rehmi* = *A. spinosa* = *S. scutata* = *Glomus sp.* (Tabela 6.).

**Tabela 6.** Frequência relativa de ocorrência de espécies de FMA encontradas nas áreas de pasto, e nas três áreas de sucessão (inicial; intermediária e tardia), em Mata Seca no Norte de Minas Gerais na profundidade 0-10 cm.

Ordem	Família	Gênero	Espécie	Frequência Relativa* (%)				
				Área				
				1	2	3	4	
Archaeosporales	Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>	<i>Ar. leptoticha</i>	22	11	33	0	
			<i>A. delicata</i>	11	0	0	0	
			<i>A. denticulata</i>	44	11	0	11	
			<i>A. rehmi</i>	0	0	11	0	
	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>	<i>A. foveata</i>	0	0	22	0
				<i>A. scrobiculata</i>	11	78	33	67
				<i>A. spinosa</i>	0	11	0	0
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora sp.</i>	0	33	44	0
				<i>S. heterogama</i>	11	0	0	11
				<i>Scutellospora</i>	<i>S. pellucida</i>	11	11	56
<i>S. scutata</i>	0	0	11		0			
Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>	<i>G. claviformis</i>	33	11	0	22	
			<i>G. etunicatum</i>	33	0	0	0	
			<i>G. formosanum</i>	0	22	0	0	
			<i>G. lamellosum</i>	22	11	0	11	
			<i>G. macrocarpum</i>	78	100	100	100	
			<i>G. tortuosum</i>	100	100	33	56	
			<i>Glomus sp.</i>	0	0	11	0	
3 ordens	4 famílias	5 gêneros	19 espécies	11 spp	12 spp	11 spp	7 spp	

Frequência Relativa de ocorrência é o número de amostras em que ocorre a espécie/ pelo número total de amostras (n=9) multiplicado por 100. (1= pasto; 2 = inicial; 3 = intermediária; 4 = tardia).

Caproni *et al.* (2003), registraram altas concentrações de propágulos infectivos e número de esporos de *G. macrocarpum*, independente das condições do substrato testado.

Silva (2009) encontrou em área de cava de extração de argila *G. tortuosum* em maior frequência de ocorrência que *G. macrocarpum* e este foi maior que *A. scrobiculata*. A autora relata que embora tenha ocorrido maior frequência de *G. tortuosum*, a espécie que apresentou maior número médio de esporos foi *G. macrocarpum*. De acordo com esta autora, a alta abundância relativa do gênero *Glomus*, em particular o *G. macrocarpum*, indica a alta capacidade de esporulação ou a adaptabilidade à região e as situações iniciais de sucessão.

Em estudos realizados por Zandavalli *et al.* (2008), em três florestas distintas com *Araucária angustifolia* (mata nativa, reflorestamento com *A. angustifolia* e plantação com *Pinus taeda*) no sul do Brasil em função da variação da sazonalidade, encontraram a maior riqueza (16 espécies de FMA) na plantação de Araucária e a menor na floresta nativa (8 espécies) e os gêneros que mais ocorreram foram *Acaulospora* e *Glomus*. Estes autores constataram que a estação com maior riqueza de espécies foi diferente em cada local e atribuíram ao histórico das áreas e à composição das espécies vegetais as diferenças encontradas entre os locais de estudo.

A ocorrência da variação sazonal na dinâmica micorrízica foi proposta por Allen *et al.* (1998); no entanto, nem sempre tais diferenças são registradas, com o número de esporos mantendo-se similar nas diferentes estações do ano, em condições semiáridas (SILVA *et al.*, 2001).

Souza *et al.* (2003), avaliando a diversidade e potencial de infectividade de FMA em duas fazendas em área de Caatinga na Região de Xingó, em Alagoas, identificaram 24 táxons de FMA, com a maior representatividade de Acaulosporaceae e Glomaceae. Das 24 espécies de FMA identificadas por estes autores, apenas seis (*Glomus mosseae*, *G. etunicatum*, *G. occultum*, *G. spurcum*, *G. macrocarpum* e *Gigaspora albida*) têm ocorrência registrada em regiões áridas da África (DIEM *et al.*, 1981; DIALLO *et al.*, 1999; STUTZ *et al.*, 2000) e da América do Norte (STUTZ *et al.*, 2000). O estudo mostra que as espécies já citadas anteriormente em relação à ocorrência no semiárido brasileiro foram: *G. etunicatum*, *G. occultum*, *G. macrocarpum*, *G. mosseae*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora scrobiculata* e *Ar. leptoticha* em área de caatinga, na Bahia. Em Pernambuco no Vale do submédio São Francisco no perímetro irrigado *Acaulospora excavata*, *A. scrobiculata*, *Ar. leptoticha*, *Acaulospora longula*, *A. rehmi*, *Glomus etunicatum*, *G. macrocarpum*, *G. mosseae*, *G. occultum*, *G. sinuosum*, *Gigaspora albida*, *G. margarita*, *Scutellospora heterogama* e *S. pellucida* e em agrossistemas no sertão de Pernambuco *Glomus mosseae*, *Acaulospora scrobiculata* e *Ar. leptoticha*. Estes autores relatam não terem encontrado registro de *Acaulospora denticulata* e *Glomus spurcum* em levantamentos da diversidade de FMA no Brasil. Em relação as espécies registradas por estes autores, a *A. scrobiculata* e a *G. macrocarpum* parecem ser comuns no semiárido brasileiro.

Neste estudo foi registrado a presença de *Acaulospora denticulata* que até então, de acordo com Souza *et al.* (2003), não havia registro no semiárido brasileiro (Tabela 6.).

O trabalho de Silva *et al.* (2001), em área de Caatinga não identifica as espécies dos FMA encontradas nas áreas de pesquisa, mas faz uma importante contribuição sobre a ocorrência dos mesmos. Este autor afirma que a atividade mineradora causou sérios danos ao local, o que foi observado pela baixa diversidade vegetal e quantidade de esporos de FMA nas cinco subáreas afetadas, principalmente quando comparadas com a subárea apresentando caatinga preservada.

Allen (1991) observou que em regiões perturbadas pela extração mineral, os FMA foram reduzidos ou eliminados, prejudicando assim o desenvolvimento de importantes espécies de plantas, as quais são dependentes das micorrizas para o seu estabelecimento e sobrevivência.

A dificuldade para se estabelecer um padrão de distribuição dos FMA pode estar associada aos diversos fatores bióticos e abióticos relacionados aos ambientes, como também às diferentes estratégias de sobrevivência destes fungos. A distribuição das espécies de Acaulosporaceae e Glomaceae mostrou que a maioria ocorreu em solos com baixo pH e/ou baixo teor de fósforo. Provavelmente por estes membros serem diferenciados pela presença de vesículas, que contém lipídios e grânulos de glicogênio que servem como órgão de estocagem para o fungo (SMITH e READ, 1997).

A área com sucessão inicial foi a que apresentou maior riqueza de espécies (12) enquanto que a área de sucessão tardia apresentou a menor riqueza (7) (tabela 6.). Foram encontradas em todas as áreas as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus macrocarpum* e *Glomus tortuosum* (Figura 12.- fotos 2; 6; 7). E os gêneros que mais se destacaram foram *Glomus* e *Acaulospora* estando presentes em todas as áreas.

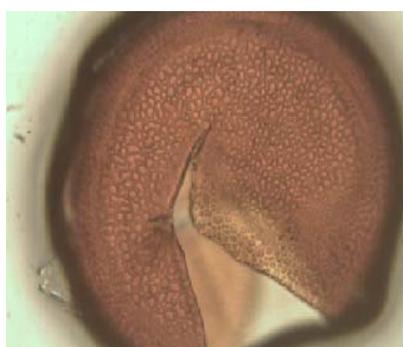


Foto 1. *Acaulospora foveata* (100x)

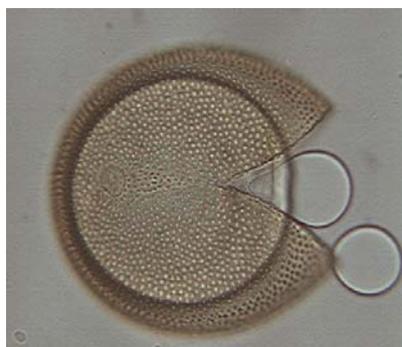


Foto 2. *A. scrobiculata* (40x)

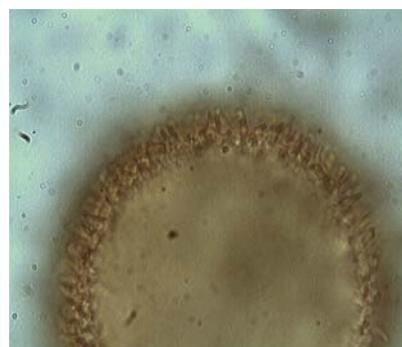


Foto 3. *A. spinsa* (100x)



Foto 4. *Glomus etunicatum* (40x)

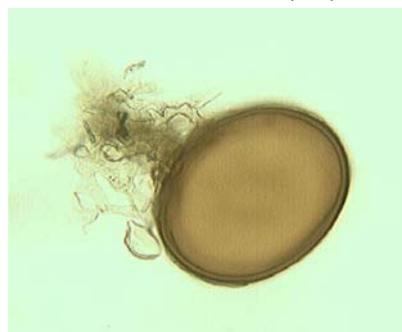


Foto 5. *G. formosanum* (40x)



Foto 6. *G. macrocarpum* (100x)

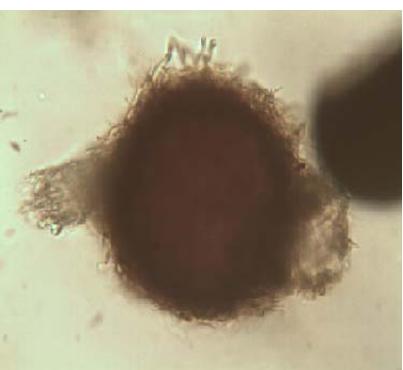


Foto 7. *G. tortuosum* (40x)



Foto 8. *A. delicata* (100x)



Foto 9. *A. Rhemii* (40x)

**Figura 12.** Fotomicrografia de esporos de FMA das espécies mais e menos abundantes presentes nas amostras de solo coletadas nas áreas de estudos (pasto, inicial, intermediária e tardia), em Mata Seca no Norte de Minas Gerais.

Neste estudo, foram registradas as espécies de Acaulosporaceae e Glomeraceae em baixos teores de fósforo e o baixo pH variando de 5,06 na área de sucessão intermediária a 7,03 na área de sucessão inicial (Tabela 7.).

**Tabela 7.** Quantidade de espécies de FMA que ocorreram na área de pasto e sucessão inicial, intermediária e tardia por família e pH

Área	pH	Quantidade de espécies de FMA por famílias ocorridas nas áreas			
		Archaeosporaceae	Acaulosporaceae	Gigasporaceae	Glomeraceae
Pasto	6,43 a	1	3	2	5
Inicial	7,03 a	1	4	2	5
Intermediária	5,06 b	1	4	3	3
Tardia	6,63 a	-	2	1	4

As espécies de Gigasporaceae foram encontradas em maior quantidade em área de sucessão intermediária, onde foi registrada a maior acidez de solo, diferindo das demais áreas estudadas que apresentaram pH entre 6,43 a 7,03. Estes resultados corroboram com os registrados por Siqueira (1994), onde menciona que as espécies de Gigasporaceae são mais comuns em solos ácidos. No entanto, Melo *et al.* (1997) registraram a presença de *Gigaspora* em solos alcalinos.

De acordo com Stürmer (1999), espécies de *Acaulospora* são mais frequentemente encontradas em solos ácidos (pH < 6,2). Em trabalhos realizados por Trufem (1990; 1995), foi registrado 12 e 13 espécies do gênero *Acaulospora* em solos com pH entre 3,5 a 5,8 e foi sugerido, pela autora que essas espécies são mais adaptadas a tais condições, indicando que os valores de pH no solo das áreas estudadas favoreceram sua ocorrência. Reforçando esta avaliação, Gomes e Trufem (1998), encontraram 10 espécies de *Acaulospora* e seis de *Glomus*, num total de 21 espécies de FMA, associadas a solos ácidos (pH 3,2 e 3,4), na Ilha dos Eucaliptos (São Paulo), confirmando a presença de *Acaulospora* e *Glomus* em solos com baixo pH.

De acordo com Siqueira (1994), além da *Acaulospora laevis* Gerdemann e Trappe, as espécies *Glomus diaphanum* Morton e Walker, *G. occultum*, *Entrophospora colombiana* Spain e Schenck, *Scutellospora* sp., e *Gigaspora margarita*, predominam em condições de elevada acidez.

Em dunas, Trufem *et al.* (1989) *apud*. Souza *et al.* (2003) encontraram maior número de espécies de *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Scutellospora*, enquanto Stürmer e Bellei (1993) *apud*. Souza *et al.* (2003) referiram a predominância de *A. scrobiculata*, *G. albida* e *G. etunicatum*. Koske (1987) mencionou a ocorrência de *S. weresubiae*, em dunas da Costa Atlântica dos Estados Unidos, sugerindo que a temperatura pode atuar como regulador de distribuição desta espécie. Allen *et al.* (1998) e Wilson e Tommerup (1992) registraram maior ocorrência de espécies de *Glomus* e *Acaulospora*, respectivamente em floresta tropical decídua, no México, e em plantações de *Terminalia* spp., numa floresta tropical, na Costa do Marfim. As temperaturas médias anuais (26 a 27 °C) nestes locais são semelhantes às da região semiárida do Nordeste, sugerindo que um gradiente latitudinal de temperatura, associado aos fatores edáficos, como baixo pH, pode ter influenciado a maior ocorrência de espécies de *Glomus* e *Acaulospora*.

A densidade de FMA na rizosfera pode estar relacionada à distribuição, morfologia e idade fisiológica das raízes de plantas hospedeiras (ANDERSON *et al.*, 1983), assim com depende da esporulação das espécies de FMA (BRUNDRETT *et al.*, 1996). Para Jasper *et al.*

(1993), as hifas de algumas espécies de FMA podem permanecer infectivas em solos secos se não for iniciado o processo de esporulação, sugerindo uma íntima relação entre a infectividade da hifa e o momento da esporulação.

Estudo realizado por Maia *et al.* (2006) registraram a presença de 52 espécies de FMA no semiárido, o que corresponde a 26% das espécies descritas e 65,8% daquelas citadas para o Brasil, o que evidencia a alta diversidade encontrada na região em relação ao resto do país, comprovando a necessidade de mais estudos nesse ambiente. Seis novos registros foram feitos para o semiárido (em áreas de caatinga), ampliando a lista para 58 espécies (29% das descritas na literatura e 73,4% das registradas no Brasil). Das oito famílias de FMA reconhecidas, seis estão representadas no semiárido, com destaque para *Glomeraceae* (22 espécies), *Acaulosporaceae* (17 espécies) e *Gigasporaceae* (16 espécies). As evidências indicam que há potencial para a descoberta de outras espécies, descritas como novas em biomas brasileiros, como é o caso de *Scutellospora cerradensis*, *S. scutata* e *Paraglomus brasilianum*, provenientes de áreas de cerrado do Centro-Oeste e também recentemente encontradas no semiárido brasileiro, em área de caatinga (GOTO, 2007).

Neste estudo, a densidade relativa das espécies de FMA variou entre as áreas estudadas. A *Glomus macrocarpum* apresentou maior densidade relativa em todas as áreas, exceto na área de pasto que apresentou a maior densidade relativa por *G. tortuosum*. Foi registrada a presença de *S. foveata* (Figura 12- foto1) e *A. scutata* apenas na área de sucessão intermediária, enquanto que *A. rehmi* e *A. tuberculata* apresentaram as menores densidade relativa na área intermediária. *A. scrobiculata* apresentou densidade relativa em todas as áreas variando de 0,255 no pasto a 10.761 na área tardia (Tabela 8.). No geral, as espécies de *G. macrocarpum* e *G. tortuosum* obtiveram os maiores percentuais de densidade relativa quando comparado às demais espécies recuperadas.

**Tabela 8.** Densidade relativa (DR) das espécies de FMA encontradas em Mata Seca em área de pasto e sucessão inicial, intermediária e tardia no Parque Estadual Mata Seca, Município de Manga, Norte de MG.

Espécies de FMA	Densidade Relativa (DR) %			
	Pasto	Inicial	Intermediária	Tardia
<i>Acaulospora delicata</i>	0,328	-	-	-
<i>A. denticulata</i>	3.720	1.145	-	1.444
<i>A. foveata</i>	-	-	1.858	-
<i>A. rehmi</i>	-	-	0.265	-
<i>A. scrobiculata</i>	0.255	8.069	1.593	10.761
<i>A. spinosa</i>	-	0.104	-	-
<i>A. tuberculata</i>	-	3.332	0.265	-
<i>Archaeospora leptoticha</i>	9.847	1.978	2.566	-
<i>Gigaspora sp</i>	-	2.499	6.195	-
<i>Scutellospora heterogama</i>	0.547	-	-	0.525
<i>S. pellucida</i>	0.438	1.301	4.956	-
<i>S. scutata</i>	-	-	0.619	-
<i>Glomus claviforme</i>	1.204	0.521	-	3.412
<i>G. etunicatum</i>	5.106	-	-	-
<i>G. formosanum</i>	-	1.093	-	-
<i>G. lamellosum</i>	1.495	1.562	-	0.394
<i>G. macrocarpum</i>	24.982	54.762	75.488	77.690
<i>G. tortuosum</i>	52.078	23.634	5.487	5.774
<i>Glomus sp.</i>	-	-	0.708	-

$$\text{Densidade Relativa (DR}_i\text{)} = \frac{\text{n}^\circ \text{ total de esporos de uma espécie}}{\text{n}^\circ \text{ total de esporos identificados no tratamento}} \times 100$$

A ocorrência de plantas não micorrizadas em ecossistemas naturais de regiões semiáridas constitui exceção, sendo a formação da simbiose parte da estratégia de tolerância das plantas aos estresses ambientais (MILLER, 1979 *apud.* SOUZA *et al.*, 2003), confirmando essa observação, mais de 95% dos espécimes examinados por este autor constituem representantes significativos da flora local, apresentavam associação com FMA. Por outro lado, não se constatou relação entre o número de esporos na rizosfera e o percentual de colonização das plantas.

Em áreas semiáridas naturais, Reeves *et al.* (1979) *apud.* Souza *et al.* (2003) encontraram mais de 90% das plantas micorrizadas. Em áreas de caatinga no Estado de Pernambuco, entre nove espécies de monocotiledôneas coletadas, seis apresentaram percentuais de colonização variando de 22% a 50% (SILVA *et al.*, 2001). Por outro lado, em outras oito espécies de monocotiledôneas coletadas também em área de caatinga, no mesmo Estado, Santos *et al.* (2000) encontram apenas dois espécimes associados a FMA.

#### 4.2.2. Diversidade de espécies de FMA

A diversidade de espécies foi avaliada através do índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) (SHANNON e WEAVER, 1949) e da equabilidade, através do índice de Pielou ( $J'$ ) (ODUM, 1988). Os dois componentes da diversidade que são combinados na função de Shannon-Wiener são: o número de espécies e a equabilidade na distribuição de indivíduos entre as espécies, ou seja, um grande número de espécies aumenta a diversidade, bem como a homogeneidade na sua distribuição. Calculou-se para cada área, o índice  $H'$ .

A avaliação da diversidade através de  $H'$ , apresentou as maiores médias na área de pasto e início de sucessão vegetal diferindo significativamente das demais áreas estudadas, sendo acompanhada pelas médias de Pielou que também se apresentaram maiores na área de pasto e início de sucessão, diferindo das demais áreas. A área tardia foi a que apresentou menor número de espécie (riqueza total) (Tabela 9.). As áreas de pasto e inicial foram as que apresentaram as maiores quantidades de esporos de FMA (Figura 8.).

**Tabela 9.** Índice de diversidade (Shannon-Wiener  $H'$ ), e equabilidade (Pielou  $J'$ ) e riqueza de espécies e gêneros de FMA, das quatro áreas estudadas.

Áreas	Shannon-Wiener $H'$	Pielou $J'$	Riqueza de espécies	Riqueza de gêneros
Pasto	0,400 a	0,792 a	11	4
Inicial	0,453 a	0,702 a	12	5
Intermediária	0,312 b	0,577 b	11	5
Tardia	0,248 b	0,524 b	7	3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5%.

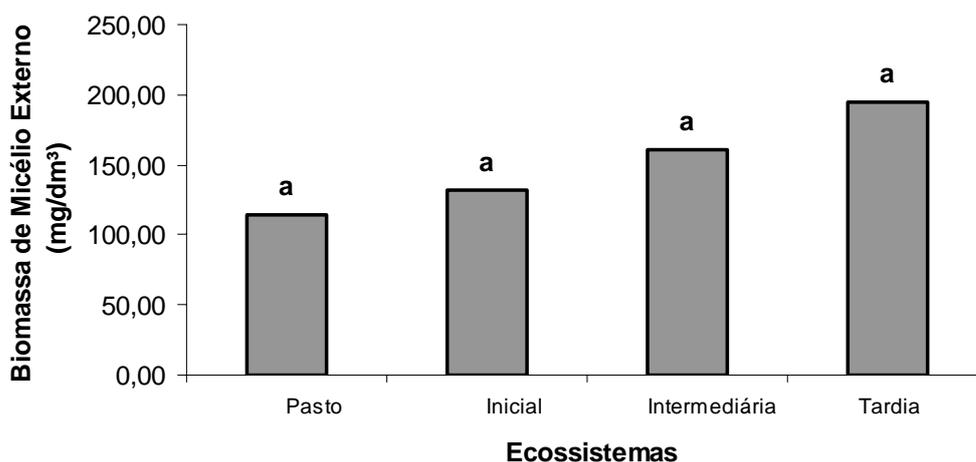
Caproni *et al.* (2003) avaliando a diversidade de FMA nas áreas em processo de revegetação na região de Porto de Trombetas, PA, observaram que a maior diversidade de espécies de FMA ocorreu na área revegetada com dois anos de idade. E atribuíram este resultado ao manejo dado a área, por ter permitido uma reposição da população de FMA. Silva *et al.* (2008), avaliando a comunidade de FMA em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, verificaram que a maior diversidade ocorreu em campo nativo, onde o ambiente não foi alterado, seguido pela área de eucalipto com dois anos de idade. De acordo com Silveira (1998), as modificações impostas ao solo, desde um simples cultivo a um

complexo processo de degradação erosiva, podem modificar a composição das espécies de FMA. Quanto maior a modificação imposta ao solo, a diversidade dos FMA tende a diminuir. Essa afirmação não confirma os resultados encontrados neste trabalho, visto que a área de pasto, seguida pela área inicial apresentaram os maiores índices de diversidade.

#### 4.2.3 Micélio externo

As médias da biomassa de micélio extra-radicular total (BMET) não apresentaram diferenças entre as áreas avaliadas, porém é possível observar aumento gradual nos valores da área de pasto em direção à área de sucessão tardia. Os valores variaram de 114,45 na área de pasto a 194,55 mg/dm<sup>3</sup> na área de sucessão tardia (Figura 13.).

De acordo com Cornis (2002), o micélio externo dos FMA agrega as partículas do solo e contribuem ativamente no processo de armazenamento de carbono no solo, (MIRANDA e MIRANDA, 2007), por meio da produção da glomalina, responsável por reter até 27% do carbono total da matéria orgânica do solo.



**Figura 13.** Micélio externo em amostras de solo da área de pasto e das diferentes sucessões vegetais. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott Knott a 5%.

Neste estudo foi observado menor estoque de carbono no solo na área de pasto, enquanto que as demais áreas apresentaram valores superiores, o que poderia estar indicando um maior acúmulo de carbono nas áreas de sucessão quando comparado a área de pasto.

Considerando a contribuição do micélio extra-radicular para a produção da glomalina, pode-se notar que a produção glomalina facilmente extraível (GFE) apresentou maior quantidade na área de pasto, enquanto que a glomalina total (GT), encontrada nas amostras de solo das áreas avaliadas apresentou o mesmo padrão que o observado na avaliação da biomassa do micélio externo, visto que não houve diferença estatística. Mas, é possível identificar uma tendência de crescimento gradual da área de pasto em direção à área de sucessão tardia (Tabela 10.).

**Tabela 10.** Biomassa de micélio externo (ME), carbono orgânico e glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) das quatro áreas estudadas.

Áreas	ME mg dm <sup>-3</sup>	Carbono g kg <sup>-1</sup>	Glomalina (mg g <sup>-1</sup> )	
			GFE	GT
Pasto	114,45 a	13,33 c	1,10 a	5,12 a
Inicial	131,85 a	21,77 a	0,77 b	5,20 a
Intermediária	160,41 a	17,60 b	0,86 b	6,34 a
Tardia	194,55 a	21,20 a	0,83 b	6,49 a

Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem significativamente entre as áreas pelo teste Scott Knott a 5%.

De acordo com Rillig *et al.* (2002), a quantidade de micélio dos FMA é responsável por mais de 50% do comprimento total de hifas fúngicas do solo. Este representando de 20 a 30% da biomassa microbiana total do solo (MILLER e KLING, 2000), e que representa rápido crescimento quando associado à planta hospedeira (JAKOBSEN *et al.*, 1992), é possível que os efeitos promovidos por plantas hospedeiras possam ser determinantes na produção de hifas e conseqüentemente na agregação do solo.

As gramíneas são mais eficientes sobre a estabilidade dos agregados do solo quando comparado o efeito deste fator por outras espécies vegetais (TISDALL e OADES, 1979). De acordo com Nobrega *et al.* (2001), os efeitos dos fatores: doses de fósforo, espécies cultivadas, uso do solo e inoculação com *Glomus etunicatum* sobre a estabilidade dos agregados são variáveis de acordo com o tipo de solo e espécie vegetal. Para chegar nestes resultados, os autores realizaram no Estado de Minas Gerais um experimento onde foram testados dois solos (Latosolo Vermelho distrófico (LVD) e Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) em diferentes doses de fósforo (P) no cultivo de braquiária. A braquiária cultivada em LVdf com adição de 30 mg kg<sup>-1</sup> de P, proporcionou um aumento de 3,25 mm de diâmetro médio geométrico (DMG) e a colonização micorrízica das raízes foi de 30%, enquanto que uma maior adição de P (300 mg kg<sup>-1</sup>) o DMG aproximadamente 3,00 mm e não ocorreu colonização micorrízica. Para estes autores, os dados avaliados apontam para uma maior eficiência do sistema radicular de gramíneas que de leguminosas na manutenção da estabilidade do solo.

Segundo Russomanno *et al.* (2008), a eficiência micorrízica está relacionada à quantidade de micélio externo formado no solo. No entanto, algumas espécies de FMA podem ser bastante eficientes na colonização de plantas hospedeiras, porém a proporção de hifas externas varia muito entre as espécies de FMA (MARSCHNER, 1995). Portanto, não é regra que as espécies de FMA que produzem maior comprimento de micélio contribuam com os maiores índices de agregação (PURIN, 2005).

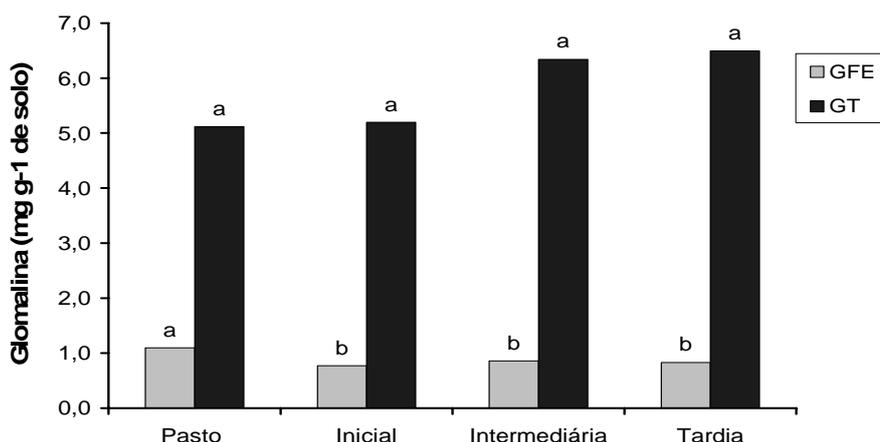
Para Miranda e Miranda (2007), a densidade dos FMA nos solos e a eficiência da micorriza arbuscular nas plantas dependem do manejo desses solos e da cultura utilizada nos sistemas de produção. Estes autores observaram que o micélio externo dos FMA desenvolvido por ocasião do plantio anterior são preservados em condição de manejo sobre plantio direto.

Em trabalho realizado por Rillig *et al.* (2002), em solos da Califórnia em 5 espécies vegetais sobre a estabilidade de agregados de 2 a 1 mm avaliaram que a espécie de gramínea *Taeniatherum caput-medusae* apresentou melhor efeito de agregação (85%), quando comparado com a espécie da família *Boraginaceae Amsinckia douglasiana* (aproximadamente 72%). Esta família reúne cerca de 2.500 espécies em 130 gêneros, com representantes

distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais e temperadas, poucas nas zonas temperadas do hemisfério Norte (AL-SHEHBAZ, 1991). A caatinga abriga algumas espécies, desta família, que são encontradas com endemismos. Estes autores apontam que as gramíneas são mais eficientes no sistema radicular que as leguminosas na manutenção da estabilidade do solo frente a distúrbios. Embora neste estudo, não tenhamos avaliado efetivamente a vegetação presente de forma conclusiva é possível que ela tenha contribuído para os resultados apurados.

#### 4.2.4. Proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG)

As médias de glomalina facilmente extraível (GFE) variaram de 0,77 mg g<sup>-1</sup> de solo em área de início de sucessão vegetal a 1,10 mg g<sup>-1</sup> de solo em área de pasto. Na área de sucessão intermediária a média foi de 0,86 mg g<sup>-1</sup> de solo e na tardia, o valor foi de 0,83 mg g<sup>-1</sup> de solo (Tabela 10.). Não houve diferença na produção de GFE entre as áreas de sucessão vegetal (inicial, intermediária e tardia), enquanto que a área de pasto apresentou diferença estatística, pelo teste Scott Knott a 5% das demais áreas analisadas (Figura 14).



**Figura 14.** Valores médios de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) em amostras de solo de área de pasto e de sucessões vegetais (inicial, intermediária e tardia) em Mata Seca no Município de Manga, Norte de MG. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott Knott a 5%.

Estas concentrações estão próximas às encontradas por Purin (2005), em áreas de pomar convencional, orgânico e campo nativo em Santa Catarina; Mergulhão (2006), em áreas de caatinga nativa e impactada por atividade gesseira em Pernambuco e também por Silva (2009), em áreas degradadas pela extração de argila, com vegetação espontânea e revegetada com leguminosas e eucalipto.

As amostras de solo deste trabalho foram coletadas em Mata Seca, no Norte de Minas Gerais no período das chuvas e a área de pasto se destacou significativamente em GFE das demais. Mergulhão (2006) registrou as maiores concentrações de GFE no período chuvoso na área de caatinga nativa e o inverso ocorreu na área de interface entre o depósito de rejeito e uma área de caatinga degradada pela mineração. Sugerindo que o período chuvoso propiciou a formação de raízes novas, necessárias para a proliferação de FMA e, conseqüentemente, maior concentração de GFE no solo. Este resultado pode explicar a maior concentração de

GFE na área de pasto, já que a vegetação dominante presente nesta área é a gramínea que contribui com uma grande quantidade de raízes, principalmente quando são estimuladas pela água das chuvas no solo e principalmente por terem seu sistema radicular renovado constantemente.

Segundo Purin (2005), a dominância de espécies de FMA também influencia a produção de GFE pela contribuição diferenciada por espécies na produção da proteína. Wright e Upadhyaya (1996), avaliando um isolado de *Glomus etunicatum* e *Gigaspora gigantea* verificaram que *Glomus etunicatum* produziu quase 60% menos GFE que *Gigaspora gigantea*.

De acordo com Lutgen *et al.* (2003), a GFE é considerada a fração de glomalina depositada mais recentemente no solo e avaliando por este prisma, a área de pasto é o sistema com maior atividade micorrízica. Para estes autores, a decomposição das hifas é um aspecto importante a ser considerado na contribuição no aumento de GFE, e quanto mais degradado o solo, mais GFE é liberada neste. Porém neste estudo, não foi encontrado, entre as áreas, diferenças estatística na biomassa do micélio externo, responsável pela maior síntese de glomalina. Ainda assim é possível que a cobertura por gramíneas tenha influenciado neste resultado, por apresentar um sistema fasciculado com muitas raízes finas colonizáveis (Tabela 10.).

Outro aspecto interessante foi observado por Silva (2009), refere-se à presença de colêmbolos (organismos da mesofauna do solo que se alimentam principalmente de hifas) nas áreas de plantio proporcionou uma maior quantidade de GFE enquanto que em áreas sob vegetação espontânea não foram encontrados estes organismos a quantidade de GFE foi menor.

Ao se alimentarem das hifas, beneficiam o fungo, principalmente pela remoção de hifas velhas, induzindo o crescimento compensatório e pela dispersão de propágulos (RUSEK, 1998).

A variação de quantidade da glomalina de uma região para outra é de difícil explicação por vários fatores que influenciam na determinação da produção e na decomposição da GFE e consiste em aspectos que necessitam de mais entendimentos (PURIN, 2005).

Não houve diferença significativa entre as amostras de solo das quatro áreas analisadas pelo teste Scott-Knott a 5% na produção de glomalina total (GT), embora a área de sucessão tardia tenha apresentado o maior valor 6,49 mg g<sup>-1</sup> e o menor valor tenha ocorrido na área de pasto com 5,12 mg g<sup>-1</sup> (Figura 14.).

Em Pernambuco, Mergulhão (2006) encontrou a maior produção de GT no período chuvoso em relação ao período seco na área de caatinga nativa quando comparadas as demais áreas comprometidas pela atividade gesseira, sugerindo que a estrutura do solo tenha sido comprometida pelo impacto antrópico representado pela atividade gesseira ocasionando uma menor concentração de GT e destacando que a quantidade de GT encontrada tenha sido depositada anterior à ação antrópica na área, visto que a glomalina pode permanecer por até 42 anos no solo (RIILIG *et al.*, 2001), estes resultados corroboram com os deste estudo, visto que a área de sucessão tardia, sem registro de intervenção antrópica foi a que apresentou maior concentração de GT, enquanto que as demais áreas apresentaram valores crescentes de acordo com o tempo que sofreram impactos antrópicos (pasto = 5,12; início =5,20; intermediária =6,34) mg g<sup>-1</sup> de solo.

Rillig *et al.* (2001) destacam que em áreas preservadas consegue-se extrair valores maiores que 60 mg de glomalina total/g de solo. No presente estudo os valores foram comparativamente menores (Tabela 10.). Mas, quando comparado com os valores encontrados por Purin (2005) em Santa Catarina, Mergulhão (2006) em Pernambuco, os

resultados são maiores, sendo superado apenas na área de plantio de eucalipto com leguminosa por Silva (2009) em Campos dos Goytacazes no RJ.

A área de pasto e a sucessão intermediária apresentaram redução de Carbono Orgânico Total (COT) enquanto que as áreas de início de sucessão e sucessão tardia apresentaram as maiores concentrações, não diferindo entre si (Tabela 3.). As perdas de COT ocorridas em algumas áreas e em outras não, pode ser atribuída a:

- 1) características da matéria orgânica, pela decomposição diferenciada dos materiais orgânicos;
- 2) taxa de decomposição e diversidade da comunidade microbiana, influenciando o balanço de COT que é mineralizado (CAMARGO *et al.*, 1999).

Na (Tabela 11.) encontram-se os percentuais de contribuição das frações de glomalina para o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS). Alguns estudos mais específicos quanto à contribuição da glomalina para o estoque de COT relacionam o carbono (C) da glomalina com o COT, e divulgam que o C da proteína representa cerca de 3 a 7% do COT do solo (RILLIG *et al.*, 2001; RILLIG *et al.*, 2003a; LOVELOCK *et al.*, 2004). Contudo, para solos brasileiros ainda não se tem conhecimento da porcentagem de C da glomalina. As contribuições foram calculadas como em trabalho realizado por Purin (2005) e Silva (2009), considerando as quantidades de GFE e GT como um todo. Os resultados da contribuição da proteína para o estoque de MOS apresentados pela (Tabela 11.) variou de 2,17 a 4,83% para GFE e de 14,50 a 22,17% para GT.

**Tabela 11.** Porcentagem de contribuição\* da Glomalina Facilmente Extraível (GFE) e da Glomalina Total (GT) para o conteúdo de matéria orgânica do solo\*\* das quatro áreas estudadas em Mata Seca no Município de Manga, MG.

Área	GFE	GT
	%	
Pasto	4.83 a	22.17 a
Inicial	2.17 b	14.50 b
Intermediária	3.00 b	21.00 a
Tardia	2.17 b	17.83 b

\*porcentagem de contribuição = (quantidade de Glomalina / quantidade de matéria orgânica) x 100. \*\*Matéria Orgânica do solo = COT\* 1,72. Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre as áreas pelo teste Scott Knott a 5%.

Os resultados da contribuição da proteína para o estoque de MOS pode ter sido diferente em função da classe textural do solo para a GFE, sendo que a área de pasto apresentou a maior contribuição (4,83%) e a menor foi encontrada na área de sucessão tardia (2,17%). As áreas de sucessão (inicial, intermediária e tardia) não diferiram entre si, tendo a menor contribuição na área de sucessão tardia. Purin (2005) encontrou no inverno contribuição GFE variando de 1,59 a 2,47% e no verão de 1,90 a 2,37%, onde esta maior contribuição se deu no pomar orgânico, ambos variando em função da classe de agregados enquanto que a GT no inverno variou de 6,17 a 9,19% e no verão de 8,43 a 9,55%, sendo as maiores contribuições encontradas no pomar orgânico no inverno e no campo nativo no verão, ambos, também, variando em função da classe de agregados do solo em Santa Catarina.

Silva (2009), em cava de extração de argila em Campos dos Goytacazes, RJ encontrou a contribuição variando de 2,04 a 3,12% para GFE onde a maior contribuição foi observada na área revegetada com eucalipto com a leguminosa *Acacia mangium* e de 4,27 a 14,09% para GT sendo a maior contribuição na área com *Sesbania virgata*. Indicando uma a maior resistência à decomposição da glomalina frente a outros constituintes orgânicos.

## 5 CONCLUSÕES

1. Foram recuperadas 19 espécies de FMA, sendo que as espécies *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus macrocarpum* e *G. tortuosum* foram encontradas na área de pasto e nas sucessões vegetais: inicial, intermediária e tardia;

2. O gênero *Glomus* apresentou grande ocorrência em todas as áreas de estudo com maior percentual na área de sucessão tardia.

3. As áreas de sucessão intermediária e tardia sem interferência antrópica, apresentaram menores densidades de fungos micorrízicos arbusculares, em comparação às demais áreas estudadas indicando ser um sistema mais estável que as demais.

4. A riqueza e a diversidade de espécies de FMA foram menores na área de sucessão tardia.

5. A biomassa de micélio extra-radicular não apresentou diferença entre as áreas, ainda assim é possível notar uma tendência crescente da área de pasto em direção à área de sucessão tardia, indicando que quanto menos interferência antrópica, maior a quantidade de biomassa de micélio.

6. A área de pasto apresentou maior quantidade de glomalina facilmente extraível (GFE), quando comparada às demais áreas.

7. A glomalina total (GT) não apresentou diferença entre as áreas estudadas.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A biodiversidade e o representativo grau de endemismo do Bioma Caatinga, precisam ser cada vez mais explorados pela ciência, no intuito de suprir a falta de informação sobre este ecossistema e principalmente de desenvolver estratégias de manejo que venham a contribuir para a manutenção e conservação deste importante ecossistema. Ainda hoje as atividades agropecuárias na caatinga estão fortemente baseadas na exploração dos recursos naturais, principalmente no que se refere ao extrativismo da cobertura vegetal, sem qualquer tipo de preocupação ambiental, pondo em risco a existência de espécies da fauna e flora, de valor econômico e ecológico. Estas ações antrópicas já deterioraram grande parte deste ecossistema tão pouco conhecido e estudado pela ciência, quando comparado com outros biomas brasileiros. Apesar de reconhecidamente importantes na maioria dos ecossistemas terrestres, dados ecológicos e biológicos básicos sobre os FMA ainda são escassos com poucos trabalhos sobre a sua ocorrência em ecossistemas naturais no Brasil.

O conhecimento da diversidade de FMA em ecossistema de Mata Seca se faz necessário, visando desenvolver ações de sustentabilidade no manejo deste ecossistema.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAM, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água num Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p. 121-128, 2001.
- ALBUQUERQUE U.P.; SILVA, V.A; ANDRADE, L.H.C. Uso e conservação da diversidade de florestas secas e úmidas de Pernambuco. In: TABARELLI M, SILVA J.M.C. (Org.) **Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco**, Recife: Editora Massangana, 2002. v.2, p. 675-687.
- ALLEN, M.F. **The ecology of mycorrhizae**. Cambridge University Press, 1991. 184 p.
- ALLEN, E.B.; RINCON, E.; ALLEN, M.F.; JIMENEZ, A.P.; HUANTE, P. Disturbance and seasonal dynamics of mycorrhizae in a tropical deciduous forest in México. **Biotropica**, Washington, DC, v.30, p. 61-274, 1998.
- ALLEN, E.B.; ALLEN, M.F.; EGERTON-WARBURTON, L.; CORKIDI, L.; GOMEZ-POMPA A. Impacts of early- and late-seral mycorrhizae during restoration in seasonal tropical forest, Mexico. **Ecological Applications**, Tempe, v.13, p. 1701-1717, 2003.
- AL-SHEHBAZ, I.A. The genera of Boraginaceae in the Southeastern United States. **Journal of Arnold Arboretum**, Cambridge, v.1, Supplement, p. 1-169, 1991.
- ALVES, J.J.A. Geoecologia da caatinga no semi-árido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.1, p. 58-71, 2007.
- ALVES, J.J.A.; ARAÚJO, M.A.; NASCIMENTO, S.S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. Uberlândia, v.9, n.27, p.143-155, 2008. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>.
- 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.
- ANDRADE, L.A.; PEREIRA, I.M.; LEITE, U.T.; BARBOSA, M.R.V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Revista Cerne**, Lavras, v.11, p.253-262, 2005.
- ANTUNES, F.Z. Caracterização Climática da Área Mineira da Sudene. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.181, p.15-19, 1994.
- AUGÉ, R.M.; STODOLA, A.J.W.; TIMS, J.E.; SAXTON, A.M. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 230, p.87-97, 2001.
- BARTH, R.C. **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, IBRAM, 1989. 41p. (IBRAM. Boletim técnico, 1).

BARTOLOME-ESTEBAN, H.; SCHENCK, N.C. Spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil aluminum saturation. **Mycologia**, New York, v.86, n.2, p. 217-226, 1994.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology**: Individuals, populations and communities. 3.Ed. Oxford, **Blackwell**, 1996. 1068p.

BELÉM, R.A. **Projeto Caminhadas no Parque: uma proposta de educação ambiental para o Parque Municipal da Sapucaia – Montes Claros/ MG**. 2002. 55f. Monografia (Especialização em Geografia Ensino e Meio Ambiente) - Centro de Ciências Humanas, Universidade Estadual de Montes Claros.

BELÉM, R.A. **Zoneamento ambiental e os desafios da implementação do Parque Estadual Mata Seca, Município de Manga, Norte de Minas Gerais**, 2008. 169 f. Dissertação. (Mestrado em Geografia) – Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais.

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, 2006 p.54-79.

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**, Essex, v. 116, p. 445-455, 2002.

BLUM, W.E.H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W.E.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p.1-30.

BOERNER, R.E.J.; DEMARS, B.G.; LEICHT, P.N. Spatial patterns of mycorrhizal infectiveness of soil along a successional chronosequence. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v6, n2, p.79-90, 1996.

BONFANTE-FASOLO, P. Anatomy and morphology of VA mycorrhizae. In: POWELL, C.L.; BAGYARAJ, D.J. (Ed.). **VA Mycorrhiza**. Boca Raton: CRC, 1984. p.5-33.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for mycorrhizal association whit barley on sewage-amended plots. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.20, p.945-948, 1976.

BRANDÃO, M. Caatinga. In: MENDONÇA, M.; LINS, L. (Org.). **Lista Vermelha das Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2000. p. 75-85.

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

BRUNDRETT, M.C. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological research**, London, v.21, p.171-313, 1991.

BRUNETT, M.C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, Lancaster, v.154, n.2 p. 275-304, 2002.

CAATINGA. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Caatinga&oldid=8485048>. Acesso em 6 dez. 2007.

CAMARGO, F.A.O; GINELLO, C.; VIDOR, C. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soil of southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.23, p.181-185, 1999.

CAPRONI, A.L. **Fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombeta/PA**. 2001 205f. Tese. (Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L.; TRUFEM, S. B.; GRANHA, J. R.; MONTEIRO, A. B. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas remanescentes da mineração de bauxita em Porto Trombetas, PA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.1409-1418, 2003.

CARAVACA, F.; ALGUACIL, M.M.; BAREA, J.M.; ROLDÁN, A. Survival of inocula and native AM fungi species associated with shrubs in a degraded mediterranean ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.37, p.227-233, 2005.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado Ecologia de Agrossistemas) - Universidade de São Paulo.

CATTELAN, A. J., VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.133-142, 1990.

CAVALCANTI, R.B. A experiência de workshops regionais e sistemas de informação geográfica para sintetizar informações. In: GARAY, I & DIAS, B. (Org.). Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais. Petrópolis, p.190-196, 2001.

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Diagnóstico Ambiental de MG**. Belo Horizonte, 1983, 158p.

CLARK, R.B. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant and Soil**, The Hague, v.192, p. 15-22, 1997.

CORNIS, D. Glomalin hiding place for a third of the world's stored soil carbon. **Agricultural Research**, Washington, DC, v.50, n.9. p.4-7, 2002.

COX, G.; MORAN, K.J.; SANDERS, F.; NOCKOLDS, C.; TINKER, P.B. Translocation and transfer of nutrients in VA mycorrhizas. III. Polyphosphate granules and phosphorus translocation. **New Phytologist**, Lancaster, v.84, p.649-659, 1980.

DANIELS, B.A.; SKIPPER, H.D. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck, N.C., (Ed.). **Methods and Principles of Mycorrhizal Research**. New York: American Phytopathological Society, 1982. p.9-53.

DAY, L.D.; SYLVIA, D.M.; COLLINS, M.E. Interactions among vesicular-arbuscular mycorrhizae, soil, and landscape positions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.51, p. 635-639, 1987.

DIAS, J. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e Caracterização de áreas Degradadas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J. W. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. 251p.

DIALLO, A.T.; SAMB, P.I.; DUCOUSSO, M. Arbuscular mycorrhizal fungi in the semiárida areas of Senegal. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v.35, p. 65-75, 1999.

DIEM, H.G.; GUEYE, I.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; FORTIN, J.A.; DOMMERGUES, Y.R. Ecology of VA mycorrhizae in the tropics: the semi-arid zone of Senegal. **Acta Ecológica. Oecologia Plantarum**, Paris, v.2, p. 53-62, 1981.

DINIZ, V.M. **Absorção de fósforo e nitrogênio por espécies arbóreas da caatinga nordestina inoculadas com fungos micorrízicos**, 2006. 33 f. Dissertação. (mestrado em Sistemas Agrossilvipastoris no Semiárido) - Universidade Federal de Campina Grande.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Palestras...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DODD, J.; KRIKUM, J.; HASS, J. Relative effectiveness of indigenous populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi from four sites in Negev. **Israel Journal of Botany** v.32, p.10-21, 1983.

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

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. (2000). Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. In: SEMINÁRIO BIODIVERSIDADE DA CAATINGA. 2000, Petrolina, PE. **Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga: trabalhos...**Petrolina: Embrapa Semi-Arido, 2000. 21p.

ECKARDT, N.A. Insights into plant cellular mechanisms: of phosphate transporters and arbuscular mycorrhizal infection. **The Plant Cell**, Rockville, v.17, p.3213- 3216, 2005.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 Edição. **Revista atual**. Rio de Janeiro, 212 p. 1997.

EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.; OADES, J.M. Organomineral complexes in relation to aggregation structure. In HUNANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.). **Interactions of soil**

**minerals with natural organics microbes**, Madison: Soil Science Society of America, 1986, 1986. p. 521-548.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS – EPAMIG. **Estudo de solos, clima e vegetação do município de Manga - MG**. Belo Horizonte, 1990. 106p.

FERREIRA, C.A.G. Recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v21, n.202, p.127-130, 2000a.

FERREIRA, D.F. **Análise estatísticas por meio do SISVAR para Windows** versão 4.0. Lavras: Ufla, 2000b. 63 p.

FITTER, A.M.; MOYERSON, B. Evolutionary trends in root-microbe symbioses. **Philosophical Transactions of the Royal society B**, London, v.35, p.1367-1375, 1996.

FRAGA, V.S.; SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.68, p.215-224, 2004.

FRIESE, C.F.; ALLEN, M.F. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in soil: inoculum types and external hyphal architecture. **Mycologia**, New York, v.83, p.409-418, 1991.

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

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spore of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of the British Mycological Society**, Cambridge, UK, v.80, p.552-557, 1963.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. **Annual Review of Phytopathology**, Saint Paul, v.6, p.397-418, 1968.

GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: TORREY, J.G.; CLARKSON, D.T. (Ed.) **The development and functions of roots**. London, p.571-591, 1975.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhiza infections in roots. **New Phytologist**, v.84, p.489-500, 1980.

GIOVANNETTI, M.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycologia**, New York, v.98, n.7, p.705-715, 1994.

GIANINAZZI-PEARSON, V. Plant cell response to arbuscular mycorrhizal fungi: getting to the roots of the symbiosis. **The Plant Cell**, Rockville, v.8, p.1871-1883, 1996.

GOMES, J.M. (1992). **SAEG 5.0**: Sistema de análise estatísticas e genéticas, SAEG. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 1992. 100p.

GOMES, S.P.; TRUFEM, S.F.B. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zigomygota) na Ilha dos Eucálptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. **Acta Botânica**, Brasília, v.12, n.3, p.393-401, 1998.

GOODLAND, R.; FERRI, MG. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979.

GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Glomerospores: a new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. **Mycotaxon**, Ithaca, v.96, p.129-132, 2006.

GOTO, B.T. Diversidade de Glomeromycota no semi-árido. Caderno de Cultura e Ciência, Grato, v.2, n.2, p.33-34, 2007. Trabalho apresentado na XXX Reunião Nordestina de Botânica, realizado na Universidade Regional do Cariri – URCA em 2007.

GUPTA, V.V.S.R.; GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.21, p.777-786, 1988.

HABTE, M. Soil acidity as a constraint to the application of vesicular-arbuscular mycorrhizal technology. In: Varma, A. & Hock, B. Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology. **Springer-Verlag**, Berlim, p. 594-605, 1995.

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**, The Hague, v.286, p.339-356, 2006.

HALVORSON, J.J.; GONZALEZ, J.M. Tannic acid reduces recovery of water-soluble carbon and nitrogen from soil and affects the composition of Bradford-reactive soil protein. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.40, p.186–197, 2008.

HARNER, M.J.; RAMSEY, P.W.; RILLIG, M.C. Protein accumulation and distribution in floodplain and river foam. **Ecology Letters**, London, v.7, p.829-836, 2004.

HAYMAN, D.S.; TAVARES, M. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the simbiotic efficiency of diferent endophytes. **New Phytologist**, Oxford, v.100, p.367-377, 1985.

HEIJDEN, M.G.A. van der; KLIRONOMOS, J. N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STRITWOLF, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, London, v.396, p.69-72, 1998.

HERRERA R.A.; RODRÍGUEZ A.; FURRAZOLA E. Método para determinar la biomasa de micelio extramátrico vesículo-arbuscular. In: CICLO LECTIVO SOBRE EL TEMA TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN EN MICORRIZA, 18 a 28 de septiembre de 1985, Turrialba. Turrialba: CATIE, 1986. p.197-207. (IFS CATIE, Informe Provisional,18).

HETRICK, B.A.D. Ecology of VA mycorrhizal fungi. In: C.L.I., Powell, D.J. Bagyaraj (Ed.). **VA Mycorrhiza**, Boca Raton: CRC Press, 1985, p.35-55.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. **Parecer técnico para a criação do Parque Estadual Mata Seca**. Relatório técnico, Belo Horizonte, MG, 2000.

INSAM, H., DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, Verlag, v.15, p.177-188, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Recursos naturais e meio ambiente**: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**. Rio de Janeiro, 2004. Escala 1:5000.000. Disponível em <[www.ibge.org.br](http://www.ibge.org.br)>. Acesso em: 20.nov.2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE 2007. Manuais técnicos em geociência, n4. In: **Manual técnico de pedologia**, 2.ed, IBGE. Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília, 1990. 96p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Relatório Nacional do Brasil**. Brasília, 1997.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS – INDI. Belo Horizonte: Departamento de Documentação e Informação do Município de Manga. 2006. Disponível em: <<http://www.indi.org.mg.br>>. Acesso em: 02 de novembro de 2008.

JACQUELINET-JEANMOUGIN, J.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Endomycorrhizas in the Gentianaceae. II. Ultrastructural aspects of symbiont relationships in *Gentiana lutea* L. **Symbiosis**, Tel Aviv, v.3, p.269-286, 1987.

JAKOBSEN, I.; ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. **New Phytologist**, Lancaster, v.120, p.371-380, 1992.

JANOS, D.P. Mycorrhizae influence tropical succession. **Biotropica**, Washington, DC, v.12, p.56-64, 1980.

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

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

JASPER, D.A.; ABBOT, L.K.; ROBSON, A.D. The survival of infective hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in dry soil: an interaction with sporulation. **New Phytologist**, Lancaster, v.124, p.473-479, 1993.

JASPER, D.A.; ABBOT, L.K.; ROBSON, A.D. Soil disturbance in native ecosystems – The decline and recovery of infectivity of VA mycorrhizal fungi. In READ, D.J.; LEWIS, D.H.; FITTER, A.H.; ALEXANDER, I.J. (Ed.). **Mycorrhizas in ecosystems**. Cambridge: CAB international, 1994, p. 151-155.

JOHNSON, D.; LEAKE, J. R.; OSTLE, N.; INESON, P.; READ, D. J. In situ <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. **New Phytologist**, v. 153, p. 327-334, 2002.

KENNEDY, A.C.; SMITH, K.L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. **Plant and soil**, Hague, v170, p.75-86, 1995.

KENNEDY, A.C. Microbial diversity in agroecosystem quality. In: COLLINS, W.W., QUALSET, C.O. (Ed.). **Biodiversity in Agroecosystems**. Boca Raton: CRC Press. 1999. p.1-17.

KOSKE, R.E. Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient. **Mycologia**, New York, v.79, p.55-68, 1987.

LAMBERT, D.H.; COLE, H.; BAKER, D.E. Adaptation of vesicular-arbuscular mycorrhizae to edaphic factors. **New Phytologist**, Lancaster, v.25, p.513-520, 1980.

LANFRANCO, L.; BIANCIOTTO, V.; LUMINI, E.; SOUZA, M.; MORTON, J.B.; BONFANTE, P. A combined morphological and molecular approach to characterize isolates of arbuscular mycorrhizal fungi in Gigaspora (Glomales). **New Phytologist**, Lancaster, v.152, p.169-179, 2001.

LEJON, D.P.H.; CHAUSSOD, R.; RANGER, J.; RANJARD, L. Microbial community structure and density under different tree species in an acid forest. Morvan, France. **Microbial Ecology**, Verlag, v.50, p.614-625, 2005.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p.1009-1012, 2004.

LUBCHENCO, J.; OLSON, A.M.; BRUBAKER, L.R.; CARPENTER, S.R. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. **Ecology**, Durham, v.72, p.371-412, 1991.

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**, The Hague, v.57 n.1, p.71-83, 2003.

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

MAIA, L.C.; GIBERTONI, T.B. Fungos registrados no semi-árido nordestino. In: SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M.; VIRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C.F.L. (Ed.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 2002. 176 p.

MAIA, L.C.; CAVALCANTI, M.A.; GIBERTONI, T.; GOTO, B.T.; MELO, A.M.M.; BASEIA, I.G.; SILVÉRIO, M. **Fungos**. In: PÔRTO, K.C.; ALMEIDA-CORTEZ, J.C.; TABARELLI, M. (Org.). *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006, v.1, p.73-106.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Cambridge: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS, M.A.; READ, D.J. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. II. A study of phosphorus transfer between plants interconnected by a common mycelium. **Microbiologia**, Madri, v.27, p.30-35, 1996.

MARTIUS, K.P.V. *tabulae physiognice: 1840*. In: SOARES, J.P.M.; FERÃO, C. (Org.). **A viagem de Von Martius**: Rio de Janeiro: Index, 1996. v.1.

MARX, D.H. Stabilizing ecosystems with VAM fungi: significance of VAM fungi in natural plant succession on disturbed arid and semi-arid lands. *PlantHealthCare.com* (acesso 02.2000).

MELO, A.M.Y.; MAIA, L.C.; MORGADO, L.B. Fungos micorrízicos arbusculares em bananeiras cultivadas no vale do submédio São Francisco. **Acta Botanica Brasílica**, Porto Alegre, v.11, p.115-121, 1997.

MENDES, B.V. O Semi-Árido brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, 1992. São Paulo. **Anais...**São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.394-399.

MENDES-FILHO, P.F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004 89 f. Tese. (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo.

MENEZES, R.S.C.; GARRIDO, M.S.; PEREZ, A.M. Fertilidade dos solos no semi-Árido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 30, Recife, 2005. Anais. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. CD-ROM.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Agricultura sustentável no semi-árido nordestino. In: OLIVEIRA, T.S.; ROMERO, R.E.; ASSIS JR, R.N.; SILVA, J.R.C.S. (Org.) **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.20-46, 2000.

MENGE, J. A.; JOHNSON, E. L. V.; PLATT, R. G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivars under three nutrient regimes. **New Phytologist**, Cambridge, v. 81, p. 553-559, 1978.

MERGULHÃO, A.C.E.S. **Aspectos ecológicos e moleculares de fungos micorrízicos arbusculares**, 2006. 152 f. Tese. (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco.

MILLER, R.M. Some occurrences of vesicular arbuscular mycorrhiza in natural and disturbed ecosystems of the Red Desert. **Canadian Journal of Botany**, London, v.57, p.619-623, 1979.

MILLER, R.M.; REINHARDT, D.R.; JASTROW, J.D. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. **Oecologia**, Berlin, v.103, p.17-23, 1995.

MILLER, R.M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, The Hague, v.226, p.295-309, 2000.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. **Contribuição da Micorriza Arbuscular para a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção com plantio direto e convencional no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 6p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 134).

MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.29, p.565-571, 2005.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora da UFLA, 2002. 626p.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2 ed. Lavras: Editora da UFLA, 2006. p.543-661.

MORTON, J. B.; FRANKE, M.; CLOUD, G. The nature of fungal species in Glomales (Zigomicetes). IN: READ, D. J.; LEWIS, D. H.; FITTER, A. H.; ALEXANDER, I. J. (Ed.). **Mycorrhizas in ecosystems**, Wallingford: CAB International, 1992. p.65-73.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P. Levels of diversity in endomycorrhizal fungi (Glomales, Zigomycetes) and their role in defining taxonomic and non-taxonomic groups, **Plant and Soil**, The Hague, v.159, n.7, p.47-59, 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**, Ottawa, v.73, Suppl. 1, p.25-32, 1995a.

MORTON, J.B.; FRANKE, M.; BENTIVENGA, S.P. Developmental foundations for morphological diversity among endomycorrhizal fungi in glomales (zygomycetes), In: VARMA, A.; HOCK, B. **Mycorrhiza, Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology**, Heidelberg: Springer-Verlag, 1995b. 666p.

MORTON, J. B. Evolution of endophytism in arbuscular mycorrhizal fungi of Glomales. In BACON, C.W AND WHITE JR.,J.F.(Ed.) **Microbial endophytes**, New York: Marcel Dekker, 2000. p.121-140.

- MOSSE, B.; HAYMAN, D. S.; ARNOLD, D. J. Plant growth response to vesiculararbuscular mycorrhiza. V. Phosphate uptake by three plant species from P-deficient soils labeled with  $^{32}\text{P}$ . **New Phytologist**, Cambridge, v. 72, p. 809-815, 1973.
- NEWMAN, E.I.; DEVOY, C.L.N.; EASEN, N.J.; FOWLES, K.J. Plant species that can be linked by VA mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Lancaster, v.126, p.691-693, 1994.
- NICHOLS, K.A.; WRIGHT, S.F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, Baltimore, v.170, p.985-997, 2005.
- NOBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1425-1435, 2001.
- NORMARK, B.B.; JUDSON, O.P.; MORAN, N.A. Genomic signatures of ancient asexual lineages. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v.79, p.69-84, 2003.
- NYE, P.H.; TINKER, P.B. **Solute movement in the soil root systems**. Oxford: Blackell, 1977. 186p.
- ODUM, E. P. **Ecologia**, São Paulo, Guanabara, 1988.
- ODUM, E. P. **Ecologia**, São Paulo, Guanabara, 1993.
- OTTEN, W.; GILLIGAN, C.A.; THORNTON, C.R. Quantification of fungal antigens in soil with monoclonal antibody-based ELISA: analysis and reduction of soil-specific bias. **Phytopathology**, Saint Paul, v.87, p.730-736, 1997.
- PICONE, C. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, Washington, DC, v.32, p.734-750, 2000.
- PIELOU, E.C. **Population and community ecology: Principles and methods**. New York: Gordon & Breach, 1983. 424p.
- PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M.; RILLIG, M.C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, Lancaster, v.164, n.2, p.365-373, 2004.
- PIROZYNSKI, K. A. Interactions between fungi and plants through the ages. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.59, p.1824-1827, 1981.
- POMPEU, P.S. **Efeitos das estações seca e chuvosa e da ausência de inundações nas comunidades de peixes de três lagoas marginais do médio São Francisco**. 1997. 62 f. Dissertação. (mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maça**. (2005) 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

RAMOS-ZAPATA, J.; GUADARRAMA, P. Los hongos micorrizógenos arbusculares en la restauración de comunidades tropicales. **Universidad y ciencia**, Tabasco, v.1, Suplemento, p. 59-65, 2004.

READ, D.J. Development and function of mycorrhizal hyphae in soil. In: SYLVIA, D.M.; HUNG, L.L.; GRAHAM, J.H. (Ed.). **Mycorrhizae in the next decade**: practical applications and research priorities. Gainesville. University of Florida, 1987. p.178-180. Proceedings of 7<sup>th</sup> Nort American Conference on Mycorrhizae.

READ, D.J. Micorrizas and nutrient cycling in sand dune ecosystems. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh**, Cambridge, v.96, p. 89-110, 1989.

READ, D.J.; KOUCHECKI, H. K.; HODGSON, J. VA mycorrhiza in natural vegetation systems. I. The Occurrence of infection. **New Phytologist**, Lancaster, v.77, p.641-653, 1976.

REDECKER, D.; MORTON, J.B.; BRUNS, T.D. Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, Orlando, v.14, p.276-284, 2000.

REEVES, F.B.; WAGNER, D.; MOORMAN, T.; KIEL, J. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid West. I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed vs. Natural environments. **American Journal of Botany**, Columbus, v.66, p.6-13, 1979.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; ALLEN, M.F.; FIELD, C.B. Rise in carbon dioxide changes soil structure. **Nature**, London, v.400, p.628, 1999.

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**, The Hague, v.233, p.167-177, 2001.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species, **Plant and Soil**, The Hague, v.238, p.325-333, 2002.

RILLIG, M.C.; MAESTRE, F.T.; LAMIT, L.J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.35, p.1257-1260, 2003a.

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

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.28, p.355-363, 2004.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultura, 1997. 748 p.

RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. Campinas, 1992. 224 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas.

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

ROSSO, S. **Amostragem, repartição espacial e diversidade/dominância de comunidades de costões rochosos: uma abordagem metodológica**. São Paulo: USP, 1996. Disponível em: <http://www.eco.ib.usp.br/labmar>. Acesso em: 15.dez.2009.

RUSEK, J. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, London, v.7, p.1207-1219, 1998.

RUSSOMANNO, O.M.R.; KRUPPA, P.C.; MINHONI, M.T.A. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de plantas de alecrim e manjeriço. **Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo**, São Paulo, v.75, n1, p.37-43, 2008.

SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas Arbusculares em cafeeiro. In Siqueira, J.O., (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas**. Lavras: UFLA, 1996. p. 203-254.

SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R. Micorriza arbuscular – papel, funcionamento e aplicação da simbiose. In AQUINO, A.M; ASSIS, R.L., (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia; Brasília, DF : Embrapa informação tecnológica, 2005. p.101-149.

SALCEDO, I.H. Fertilidade do solo e agricultura de subsistência: Desafios para o semi-árido nordestino. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; 2004, Lages. Fertibio 2004: [Anais]...Lages:SBCS, 2004.

SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO M.S. Desertificação no nordeste semi-árido. In: NOGUEIRA, R.J.M.C; ARAÚJO, E.L; WILLADINO L.G; CAVALCANTE, U.M.T. (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. p. 490-499.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semiárida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROOM.

SANTOS, R.V.; MURAOKA, T. Interações salinidade e fertilidade do solo. In GHEYI, H.R.; QUIEROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.289-317.

SANTOS, B.A., SILVA, G.A., MAIA, L.C.; ALVES, M.V. Mycorrhizae In: Monocotyledonae of Northeast Brazil: subclasses Alismatidae, Arecidae and Zingiberidae. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.10, p.151-153, 2000.

SCHARIOT, A.; SEVILHA, A.C. Biodiversidade, estrutura e conservação de Florestas Estacionais Deciduais no Cerrado. In: SCHARIOT, A.; SOUSA, J.C.; FELFILI, J.M. (Ed.). **Ecologia, Biodiversidade e Conservação do Cerrado**. Brasília: Edição do autor, 2005.

SCHENCK, N.C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. 3. ed. Gainesville: Synergistic, 1990.

SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycological Research**, Maryland, v.105 n.12, p.1413-1421, 2001.

SHANNON, C. E.; WEAVER W.; **The mathematical theory of communication**. Illinois: University of Illinois Press, 1949.

SANO, S; ALMEIDA. M. **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998, 556 p.

SIEVERDING, E. **Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems**. Eschborn: GTZ, 1991, 371p.

SILVA, C. F. **Atributos químicos e biológicos em cava de extração de argila revegetadas com leguminosas e eucalipto**, 2009. 159 f. Tese. (Doutorado em Produção vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

SILVA, G.A.; MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B.; LIMA, P.C.F. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de áreas de caatinga nativa e degradada por mineração, no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, v.24, p.135-143, 2001.

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

SILVA, M.M.; COLOZZI-FILHO, A. Emprego de técnicas moleculares na taxonomia e em estudos sobre ecologia e diversidade de FMA. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: IAPAR, 2007. p.127-152.

SILVA, R.F.; ANTONIOLLI, Z.I.; ANDREAZZA, R.; KAMINSKI, J. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com eucalipto, pinus e campo nativo em solo arenoso, São Francisco de Assis, RS. **Ciência Florestal**, v.18, p.353-361, 2008.

SILVEIRA, A.P.D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. (Ed.). **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. p.61-86.

SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - SIMGE. Disponível em: <<http://www.simge.mg.gov.br/>> Acesso em 20.set.2008.

SIMON, L.; BOUSQUET, J.; LEVESQUE, R.C.; LALONDE, M. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. **Nature**, London, v.363, p.67-69, 1993.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnology do solo: Fundamentos e Perspectivas**. Lavras: MEC/ABEAS, 1988. 236 p.

SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S., HUNGRIA, M. (Ed.). **Microrganismos de importância agrícola**, Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994, p.152-194.

SIQUEIRA, O.J.; SAGGIN JÚNIOR, O.J. The importance of mycorrhizae association in natural low-fertility soils. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL, 1992, Belo Horizonte, MG. **O milho em perspectiva: anais**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS/México: CIMMYT/UNDP, 1995. 449 p.; p.240-280.

SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v.11 p.245-255, 2001.

SIQUEIRA, J.O.; LAMBAIS, M.R.; STÜRNER, S.L. Fungos micorrizicos arbusculares. **Biotechnology Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, DF, n.25, p.12-21, 2002.

SKUJINS, J.; ALLEN, M.F. Use of mycorrhizae for land rehabilitation. **Mircen Journal**, v. 2, p.161-176, 1986.

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

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição de serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 150 f. Tese (doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba.

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

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

SOUZA, F.A.; SILVA, I.C.L.; BERBARA, R.L.L. Fungos micorrizicos arbusculares: muito mais que se imaginava. In. MOREIRA, F.M.S., SIQUEIRA, J.O., BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras, Editora da UFLA, 2008. p.483-536.

STÜRNER, S.L. Evolução, classificação e filogenia dos fungos micorrizicos arbusculares. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA, 1999. p.797-817.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazilian Ecosystems. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Soil Biodiversity and Other Brazilian Ecosystems**. London: CABI Publishing, 2006. 280p.

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

SYLVIA, D.M.; JARSTFER, A.G. Sheared-root inocula of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Appl. Environ. Microbiology*, Reading, v.58, p.229-232, 1992.

SYLVIA, D.M.; WILLIAMS, S.E. Vesicular arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: BETHLENFALVAY, G.J., LINDERMAN, R.G. (Ed.) **Mycorrhizae in sustainable agriculture**, Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.101-124.

TAMASLOUKHT, M.B.; SEJALON-DELMAS, N.; KLUEVER, A.; JAUNEAU, A.; ROUX, C.; BÉCARD, G.; FRANKEN, P. Root factors induce mitochondrial-related gene expression and fungal respiration during the developmental switch from asymbiosis to presymbiosis in the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora rosea*. **Plant Physiology**, Washington, DC, v.131, p.1468-1478, 2003.

TARAFDAR, J.C.; PRAVEEN-KUMAR. The role of vesicular arbuscular fungi on crop, tree and grasses grown in an arid environment. **Journal of Arid Environment**, Amsterdam, v. 34, p.197-203, 1996.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agricultural Ecosystem & Environment**, Amsterdam, v.38, p.139-151, 1992.

TILMAN, D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. **Ecology**, Durham, v.77, p.350-363, 1996.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v.17, p.429-441, 1979.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TOLEDO, L.O. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no Município de Pinheiral, RJ**. Seropédica, 2003 80 f. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

TRESEDER, K.K.; MACK, M.C.; CROSS, A. Relationships among fires, fungi, and soil dynamics in Alaskan boreal forests. **Ecological Applications**, Tempe, v.14, p.1826-1838, 2004.

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

TRUFEM, S.B.; OTOMO, H.S.; MALATINSZKY, S.M.M. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em rizosfera de plantas em dunas do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, São Paulo, Brasil. (1) Taxonomia. **Acta Botanica Brasílica**, Brasília, DF, v.3, p.141-152, 1989.

TRUFEM, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em rizosferas de plantas de mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, Brasília DF, v.4, p.31-45, 1990.

TRUFEM, S.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de plantas de restinga da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.18, p.51-60, 1995.

TRUFEM, S.F.B. Methods for the assessment of diversity in mycorrhizae. In WORKSHOP METHODS FOR ASSESSMENT OF BIODIVERSITY IN PLANTS AND ANIMALS, 1996, Campos do Jordão. **Biodiversity in Brazil: a first approach**. São Paulo: CNPq, 1996. 326 p.

VASCONCELOS-SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Recife: Conselho do Desenvolvimento de Pernambuco, 1971.

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. EMBRAPA-CPAC, 1997.524 p.

WARDLE, D.A.; GILLER, K.E. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.28, p.1549-1554, 1997.

WILSON, J.M.; TOMMERUP, I.C. Interactions between fungal symbiontes: VA mycorrhiza. In ALLEN, M.F., (Ed.). **Mycorrhizal functioning**, London: Chapman Hall, 1992. p.190-248.

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**, Oxford, 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**, The Hague, 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**, Baltimore, v.161, p.575-586, 1996.

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

WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1825-1829, 1999.

WRIGHT S.F. A fluorescent antibody assay for hyphae and glomalina from arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v.226, p.171-177, 2000.

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

ZAMBOLIM, L.; SIQUEIRA, J.O. **Importância e potencial das associações micorrízicas para agricultura**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1985. 36p.

ZANDAVALLI, R.B.; STÜRMER, S.L.; DILLENBURG, L.R. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi in forests with *Araucária* in Southern Brazil. **Hoehnea**, São Paulo, v.35, n.1, p.63-68, 2008.

ZHU, Y.; MILLER, R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil plant systems, **TRENDS in Plant Science**, Maryland, v.8, p.408, 2003.