



**Serviço Público Federal  
Universidade Federal do Pará  
Campus Universitário de Altamira  
Faculdade de Engenharia Agrônoma  
Curso de Agronomia**

**OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES EM HORIZONTE ANTRÓPICO  
(TERRA PRETA DE ÍNDIO) EM ALTAMIRA - PARÁ**

**Amanda Estefânia de Melo Ferreira**

**Altamira – Pará – Brasil  
2010**



**Serviço Público Federal  
Universidade Federal do Pará  
Campus Universitário de Altamira  
Faculdade de Engenharia Agrônômica  
Curso de Agronomia**

**OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES EM HORIZONTE ANTRÓPICO  
(TERRA PRETA DE ÍNDIO) EM ALTAMIRA - PARÁ**

**Amanda Estefânia de Melo Ferreira**

**Orientador: Prof. Dr. Simão Lindoso de Souza**

**Altamira – Pará – Brasil  
Fevereiro de 2010**

**“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos”**

**(Lao Tsé)**

À minha mãe, **Leoni Carvalho de Mello Ferreira** (*in memoriam*),

pelo amor incondicional e pelo exemplo de vida, perseverança e força.

DEDICO,

Ao meu pai, Ananias Rocha Ferreira pelo

amor, força e incentivo.

As minhas irmãs Graciely, Franciely e Janaina

Pelo companheirismo, cumplicidade e amor.

E aos meus sobrinhos Giulia, Brunno e ao pequeno Davi

Por não deixarem morrer a curiosidade da criança que há em mim.

OFEREÇO.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, eu não poderia nem sequer ter pensado em fazer este trabalho, se não tivesse a certeza de que estaria cuidando da minha vida e de muito mais.

Agradeço a minha família, que sempre compreendeu minha ausência em busca desta conquista. Dentre eles eu agradeço primeiramente a minha querida e eterna rainha, Leoni Carvalho de Mello Ferreira (*in memoriam*). Minha querida mãe, que com todo seu carinho e esforço sempre lutou em virtude de melhor qualidade de vida as suas filhas e mesmo distante lutando pela vida, vibrou comigo a cada conquista. É uma pena que não esteja aqui hoje!

Agradeço também a meu pai, que diante de todas as dificuldades enfrentadas nos últimos anos, teve força pra me apoiar e me incentivar na continuidade nesta carreira que escolhi.

Não poderia deixar de agradecer minha querida irmã Graciely, que sempre impulsionou meus estudos e me ensinou a ter paciência nos momentos aflitos da vida. Agradeço ainda a seu cônjuge Jackson.

Continuo meus agradecimentos agora para a minha segunda família, aqueles que comigo estiveram durante toda a graduação.

Primeiramente agradeço meu orientador Professor Simão Lindoso de Souza, que além de professor foi o grande responsável em despertar meu interesse pelo estudos em solos e micorrizas. Agradeço ainda pela paciência, dedicação e incentivo na vida acadêmica e na pesquisa.

Agradeço ainda a todos os professores da Faculdade de Engenharia Agrônômica da UFPA, em especial ao Professor Rainério Meireles, que lecionaram suas aulas e contribuíram efetivamente para minha formação da profissional. Além de contribuírem com cada conquista alcançada e cada passo dado durante minha graduação.

Não poderia aqui deixar de agradecer meus queridos colegas de graduação, refiro me aqui a todos os guerreiros da Agronomia 2005, em especial a Mariete, Cássio e Gilsilene, que mesmo diante de muitos conflitos e amizades, mostraram-se ótimos companheiros nos momentos de aflições e adversidades.

Agradeço ainda a todos os outros amigos das demais turmas de Agronomia da UFPA (2001, 2002, 2003, 2004, 2006 e 2008), que em meio a tantas festas, viagens e

momentos tristes e especiais estiveram sempre dispostos a ajudar no que fosse necessário.

Continuo agradecendo aos colegas das Coordenações das SICAs (7<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup> e 9<sup>a</sup>), onde juntos pudemos construir uma pequena parte da história deste evento, e pudemos que contribuir, mesmo que infimamente, para o desenvolvimento agrícola sustentável na região da Transamazônica.

Meu muito obrigada a todos os agricultores da Comunidade Bom Jardim I, em especial ao Sr. Januário de Sá e Iolanda Ferreira (meus pais do Assurini), que de braços abertos me receberam em sua casa durante os cinco anos de graduação e que contribuíram muito em meu aprendizado, na minha formação e na vida pessoal. Os guardarei pra sempre no coração.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos do grupo de estudos de Micorrizas Arbusculares, Denise, Mário, Gladson e a recém ajudante Kézia. Agradeço a vocês imensamente todo o apoio e aos conhecimentos trocados e afirmo, sem vocês hoje eu não estaria aqui.

Agradeço ainda aqueles que contribuíram mesmo que distantes para a realização deste trabalho, Dirce Kern (MPEG), Maria de Lourdes Ruivo (MPEG), Diego Nascimento (UFRA) e Sandra Andréa Silva (UFPA). E aos agricultores, Sr. Jacó, Sr. Plínio e Sr. Eduardo que disponibilizaram sua área para coletas de amostras para realização deste estudo.

Cabe aqui também agradecer a todos os projetos e bolsas em que trabalhei. Agradeço ao Professor Plácido Magalhães, pela oportunidade de participar do grupo de estudos sobre abelhas. A todos os companheiros da Secretaria Acadêmica. Agradeço à Professora Juliete pelos meses de trabalho e orientações prestadas em seu projeto. Imensamente, agradeço a todos os companheiros da Fundação Viver, Produzir e Preservar - FVPP, que neste ultimo ano me prestaram apoio profissional e pessoal, contribuindo certamente com minha formação e desenvolvimento pessoal.

A todos, meu muito OBRIGADA.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO _____  | x  |
| 1 - INTRODUÇÃO _____                                    | 1  |
| 2 – REFERENCIAL TEÓRICO _____                           | 3  |
| 2.1 - Processo de formação das TPIs _____               | 3  |
| 2.2 - Características físico-químicas das TPIs _____    | 5  |
| 2.3 - Aspectos biológicos das TPIs _____                | 7  |
| 2.4 - Microbiota dos solos _____                        | 7  |
| 3 - MATERIAL E MÉTODOS _____                            | 11 |
| 3.1 - Localização e descrição das áreas estudadas _____ | 11 |
| 3.2 - Coletas de amostras em campo _____                | 11 |
| 3.3 - Análises químicas _____                           | 12 |
| 3.4 - Extração de esporos _____                         | 12 |
| 3.5 - Identificação dos esporos _____                   | 12 |
| 3.6 - Avaliações da taxa de colonização radicular _____ | 12 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO _____                        | 14 |
| 4.1 - Características morfológicas _____                | 14 |
| 4.2 - Características químicas _____                    | 16 |
| 4.2.1 – pH _____  | 16 |
| 4.2.2 - Fósforo (P) _____                               | 16 |
| 4.2.3 – Matéria Orgânica e C orgânico _____             | 18 |
| 4.3 – Ocorrência de FMAs em TPIs _____                  | 20 |
| 4.3.1 – Diversidade de FMAs _____                       | 20 |
| 4.3.2 – Densidade de FMAs _____                         | 26 |
| 4.3.3 – Taxa de colonização radicular _____             | 28 |
| 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS _____                          | 30 |
| 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____                    | 31 |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 01 - Distribuição das TPIs na Amazônia Central (áreas conhecidas).<br>Fonte: Costa et al. (2009) _____  | 4  |
| Figura 02 – Coleta de amostra em solo rizosférico (A), observações formológicas do horizonte antrópico na trincheira (B), determinação da profundidade e coleta com trado pedológico _____                         | 12 |
| Figura 03 – Perfis demonstrando horizonte antrópico, sítio 1 (A), sítio 2 (A) e sítio 3 (C) _____  | 15 |
| Figura 04 – Amostras de solos e artefatos cerâmicos encontrados nos três sítios estudados _____  | 15 |
| Figura 05 – Teores de pH medidos em H <sub>2</sub> O (A) e KCl (B) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T) _____  | 16 |
| Figura 06 – Teores de P (mg dm <sup>-3</sup> de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T) _____   | 17 |
| Figura 07 – Teores de M.O. (g kg <sup>-1</sup> de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T). Método Walkley-Black _____   | 18 |
| Figura 08 – Teores de Carbono Orgânico (g kg <sup>-1</sup> de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T) _____   | 19 |
| Figura 09 – Fungo do gênero Acaulospora (ontogenia) (A); Morfotipo A. denticulata (B); Morfotipo Acaulospora sp. (C); Morfotipo G. intraradices (D); Morofotipo Glomus sp. (E), Morfotipo, Gi. margarita (F) _____ | 21 |
| Figura 10 – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sitio 1 _____   | 22 |
| Figura 11 – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sitio 1 _____   | 23 |
| Figura 12 – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sitio 2 _____   | 24 |
| Figura 13 – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sitio 2 _____   | 24 |
| Figura 14 – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sítio 3 _____   | 25 |
| Figura 15 – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sitio 3 _____   | 26 |
| Figura 16 – Densidade total de esporos de FMAs encontrados em amostras de solos (50 ml) de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2) _____  | 27 |
| Figura 17 – Taxa de colonização radicular (%) de amostras de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2) _____  | 28 |

## Lista de Quadros e Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1: Localização e coordenadas dos sítios arqueológicos _____   | 11 |
| Tabela 01 – Distribuição numérica de morfotipos encontrados em amostras de solos (50 ml) de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2) _____ | 21 |

## RESUMO

### OCORRÊNCIA DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM HORIZONTE ANTRÓPICO (TERRA PRETA DE ÍNDIO) EM ALTAMIRA - PARÁ

A Terra Preta de Índio (TPI) é uma unidade de solo de origem antrópica existente na Amazônia caracterizada por apresentar elevada fertilidade e capacidade de retenção de nutrientes, provavelmente devido ao manejo de restos orgânicos e do fogo utilizado por povos indígenas. A maioria dos estudos realizados com TPI está voltada aos aspectos geológicos e antropológicos, sendo os aspectos biológicos, como a diversidade microbiana ainda pouco conhecidos ou divulgados. Dos microrganismos existentes no solo, os Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMAs) destacam-se por estabelecer associações simbióticas com maioria das raízes das plantas. Neste sentido o presente trabalho objetivou estudar o comportamento das populações de FMAs nesses ambientes, por meio do estudo da diversidade, densidade de esporos e a taxa de colonização das raízes, em áreas com diferentes coberturas vegetais. O estudo foi realizado em três sítios arqueológicos em Altamira, PA. Os sítios foram denominados por sítio 1, sítio 2 e sítio 3 com coberturas vegetais: capoeira em TPI e pastagem nos solos adjacentes para os sítios 1 e 2, e capoeira na TPI e adjacente para o sítio 3. Os sítios apresentaram horizonte antrópico com profundidade entre 20,6 e 26,7 cm. As análises químicas para pH, P, Matéria Orgânica e Carbono Orgânico, mostraram maiores teores destes elementos nas TPI do que em solos adjacentes. Foram identificados onze morfotipos de FMAs, com dominância do gênero *Glomus*, presente em 80% das amostras analisadas. Apesar da quantidade de morfotipos encontrados em TPI e adjacentes (T) serem as mesmas, os morfotipos identificados entre as amostras dos mesmos sítios foram diferentes. A densidade de esporos foi maior nos solos adjacentes do que em amostras de TPI. Para essas últimas, quanto maior o teor de C orgânico, maior foi a densidade de FMAs. A colonização radicular esteve diretamente ligada à cobertura vegetal, maiores taxas foram encontradas em áreas de pastagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Micorrizas, Diversidade, Terra Preta de Índio.

## 1 - INTRODUÇÃO

Horizonte antrópico, mais conhecido como Terra Preta de Índio (TPI), é uma unidade de solo de origem antrópica, existente na Amazônia. A TPI é caracterizada por apresentar coloração escura quando comparada a solos adjacentes, com a presença de artefatos líticos e/ou cerâmicas (KÄMPF & KERN, 2003); além de elevada fertilidade e capacidade de retenção de nutrientes (NEVES JÚNIOR, 2008), provavelmente devido ao manejo de restos orgânicos e do fogo utilizado por povos indígenas (CANNAPAN, 2007).

As TPIs são manchas de solos que ocorrem em toda a Amazônia e apresentam altos teores de nutrientes como o cálcio, magnésio, fósforo e potássio e alguns micronutrientes, como o manganês e o zinco (SOMBROEK, 1995; KERN & KÄMPF, 1989; LEHMANN et al., 2003). As TPIs apresentam pH em torno de 5,0 a 7,0 e elevados teores de matéria orgânica, provavelmente originados de restos de ossos humanos e animais, e intensa atividade biológica quando comparados com solos adjacentes (GLASER et al., 2001; LIMA et al., 2002).

A TPI apresenta ainda como característica peculiar, a sustentabilidade de sua fertilidade. Mesmo após vários anos de utilização contínua para fins agrícola, a fertilidade do solo é mantida e/ou pouco alterada.

A maioria dos estudos realizados com TPI está voltada aos aspectos geológicos e antropológicos, sendo que os aspectos físico-químicos e, principalmente biológicos, como a diversidade microbiana do solo ainda são pouco conhecidos ou divulgados.

Os microrganismos do solo são componentes essenciais para o funcionamento sustentável dos ecossistemas, sendo fundamentais para o processo de fragmentação e decomposição da matéria orgânica e na disponibilização de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Neste sentido, torna-se importante conhecer a diversidade microbiana das TPIs, já que os microrganismos e as interações ecológicas existentes nestas áreas são importantes para a manutenção da fertilidade destes solos.

Dentre os microrganismos do solo os fungos possuem função complexa e fundamental para manutenção do ecossistema. Fungos possuem uma importante função ecológica, incluindo ciclagem de nutrientes, como carbono, e participam do

desenvolvimento e saúde das plantas (SILVEIRA, 1992). Em meio à grande diversidade de fungos existentes, os Fungos Micorrizicos Arbusculares (FMAs) destacam-se por estabelecer associações simbióticas com maioria das raízes das plantas (HARRISON, 1999). Esta associação proporciona vários benefícios às plantas, principalmente em condições de solos de baixa fertilidade (SILVA-JUNIOR & CARDOSO, 2006).

Os FMAs contribuem para a maior produtividade, sustentabilidade agrícola e para a conservação ambiental, através de inúmeros efeitos, os quais incluem a melhoria da agregação das partículas do solo. As hifas dos fungos formam uma rede que atinge até 50 m por grama de solo contribuindo de forma significativa na formação de agregados estáveis destes solos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). A presença do fungo estimula também o crescimento da planta e aumenta a tolerância da planta contra patógenos e pragas.

Partindo do pressuposto que a TPI possui alta fertilidade natural, constituindo dessa forma um nicho favorável ao desenvolvimento vegetal, acredita-se que é também um nicho favorável ao desenvolvimento de comunidades microbianas. Neste sentido o presente trabalho objetivou estudar o comportamento das populações de Fungos Micorrizicos Arbusculares nesses ambientes, por meio do estudo da diversidade, densidade de esporos e a taxa de colonização das raízes, em áreas com diferentes coberturas vegetais.

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 - Processo de formação das TPIs**

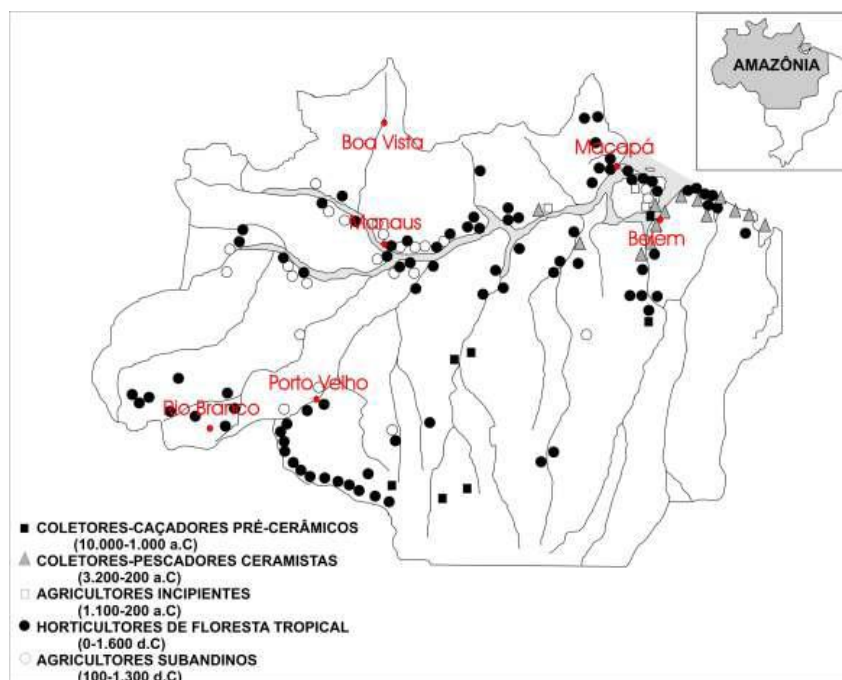
A Região Amazônica é conhecida por uma região que apresenta altos índices pluviométricos, altas temperaturas e por diversificada floresta tropical úmida e densa edificada sob solos ácidos e pobres em nutrientes. Todavia, a realidade contempla uma região onde as condições ambientais são muito mais diversificadas e esta ampla diversidade é acompanhada por variações na vegetação, dos tipos e na qualidade dos solos da Região (SOMBROEK, 2000).

Evidências arqueológicas indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos (KERN, et. al, 2009). Na transição Pleistoceno tardio com Holoceno antigo, ao final da última glaciação do Hemisfério Norte, o homem já se fazia presente na Amazônia, ocupando uma grande variedade de habitats, como terras altas (firmes) e várzeas, florestas, cerrados e alagados (ROOSEVELT, 1994 e 2002; OLIVER, 2001). A ocupação da Amazônia aconteceu por uma grande variedade de povos e culturas, em uma longa trajetória de desenvolvimento (ROOSEVELT, 1994 e 2002).

Meggers (1996) considera a pobreza de recursos ambientais na Amazônia como o fator limitante para a subsistência e a expansão populacional indígena, impedindo sua evolução social em níveis mais complexos e organizados. Sendo assim, o habitat básico dos povos indígenas pré-históricos, caracterizado como floresta tropical úmida densa, com solos ácidos e pobres em nutrientes, submetidos a intenso intemperismo químico (alta pluviosidade e altas temperaturas), é considerado incapaz de proporcionar aos caçadores-coletores uma abundância de animais e plantas comestíveis, além de inadequado para a adoção de uma agricultura intensiva que permita um modo de vida mais sedentário (KÄMPF & KERN, 2003). Neste sentido, desenvolveu-se um tipo de agricultura itinerante em clareiras na densa floresta, baseada no corte e queima da mata, as áreas eram exploradas durante curtos períodos e um longo pousio, provocando a permanência limitada em cada local, condicionando assim um desenvolvimento cultural limitado destes povos (MEGGERS, 1996).

A ocupação destas áreas registram transformações significativas no ambiente, dentre as quais se destacam alterações nas propriedades dos solos (NEVES JÚNIOR, 2008). As áreas de solo que foram afetadas pelo homem pré-histórico, apresentam cor escura, restos de material arqueológico (fragmentos cerâmicos e de artefatos líticos) e altos teores de carbono orgânico, fósforo, cálcio, magnésio, zinco e manganês contrastando com os solos naturais (KÄMPF, et. al, 2009). Por apresentar coloração escura da camada superficial, tais solos são conhecidos como Terra Preta Antropogênica (TPA), Terra Preta Arqueológica (TPA), Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta (TP), além de uma variante menos divulgada, a terra mulata (KÄMPF & KERN, 2003).

Estes sítios de ocupação humana pré-histórica estão comumente localizados em toda a Amazônia (figura 01, próximos a cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes e terra firme interior, que permitem boa visualização espacial e acesso aos recursos de diferentes ambientes. As áreas têm extensões de menos de um hectare, disseminados em solos de terra firme, até centenas de hectares ao longo de rios e interflúvios (KÄMPF & KERN, 2003; GERMAN, 2004).



**Figura 01** - Distribuição das TPIs na Amazônia Central (áreas conhecidas). Fonte: (A) Costa et al. (2009)

As TPIs ocorrem em uma variedade de classes de solos, usualmente de fertilidade natural baixa, como Latossolos, Argissolos, Neossolos Quartzarênicos, Espodosolos e outros, porém mais comumente nas duas primeiras classes, que cobrem cerca de 70% da Amazônia (RODRIGUES, 1996). A maioria destas áreas estão

localizadas sobre superfícies geomorfológicas, permanecendo com coloração escura mesmo diante de intensa lixiviação (SMITH, 1980), estendendo-se através de grandes áreas e localizadas em áreas onde não ocorrem inundações periódicas (KÄMPF & KERN, 2003). No entanto, Teixeira et. al. (2004) descrevem a ocorrência de TPI em em camadas subsuperficiais caracterizadas em várzeas. Além da Amazônia brasileira estes solos são encontrados no Equador, Colômbia, Peru, Guianas e Venezuela (NEVES JÚNIOR, 2008).

O processo de formação das TPIs e de demais solos afetados pela ação humana pré-histórica, presumivelmente é proveniente de três vias principais: (1) atividades antrópicas não intencionais, desenvolvidas por meio da habitação a longo prazo de uma determinada população em um local, seguido do acréscimo de resíduos domésticos, conhecidos como modelo “lixeira” por meio do descarte de materiais, tais como: cinzas, restos de animais, conchas, caça, dejetos humanos, entre outros compostos orgânicos (SMITH, 1980; KERN et al., 2009); (2) atividades antropogênicas intencionais, que teria sido resultado do manejo intensivo do solo para a agricultura, baseada em recorrente remoção da vegetação e combustão incompleta em queimadas frequentes e a utilização de práticas como *mulching*<sup>1</sup> e compostagem, adicionando a estes solos elevados níveis de partículas de carvão e matéria orgânica, respectivamente (DENEVAN, 2009); (3) atividades antropogeomórficas intencionais, baseados em construções de terra, edificações de aterros para assentamentos e sepultamentos, com cultivos em canteiros elevados, chamados de modelo “construtor” (KÄMPF et al., 2009).

## 2.2 - Características físico-químicas das TPIs

De acordo com Smith (1980), Kern & Costa (1997), Schmidt & Heckenberger (2009) por causa das diferenças de intensidade, duração e a natureza das atividades culturais, bem como dos processos naturais e das atividades ocorridas após o abandono dos sítios, as características das Terras Pretas e de outros solos antrópicos podem ser altamente variáveis entre sítios e dentro de sítios. Sendo assim, cada área apresenta

---

<sup>1</sup> Este termo é utilizado para explicar a prática indígena de cobertura morta, descrito por Thurston (1997), o sistema de picar/decompor é utilizado em regiões onde os períodos de estiagem são muito curtos para permitir as queimadas, toda a vegetação cortada pode ser deixada sobre o solo para se decompor, o que pode ocorrer relativamente rápido devido às altas temperaturas e umidade, permitindo assim a lenta liberação de nutrientes (DENEVAN, 2009).

características peculiares tais como: coloração, profundidade, acidez e teores de nutrientes.

Conforme diversos autores (KERN & KÄMPF, 1989; KERN & COSTA, 1997; LIMA, 2001; EMBRAPA, 2001, 2002), os solos TP são usualmente bem drenados, profundos, com textura variando de arenosa a muito argilosa, apresentando cor mais escura (de cor preta a bruno-acinzentada muito escura: N2/; 5YR 2,5/1; 7,5YR 2/0 a 3/1; 10YR 2/0 a 3/2) além de serem mais espessos e apresentarem pedaços de cerâmica e/ou artefatos líticos, em relação às áreas adjacentes. Kern et al. (2003) declaram que a espessura do horizonte antrópico ou do refugo ocupacional, em 57% dos sítios arqueológicos registrados (n = 180), apresenta de 30 a 60 cm de espessura, podendo eventualmente chegar a 200 cm.

Os solos antrópicos caracterizam-se ainda pela alta fertilidade, quando confrontados com os solos amazônicos, por possuírem elevados teores de Ca, Mg, P, Zn, Mn, Cu e C orgânico, bem como nos valores mais altos de pH em relação aos horizontes subjacentes e a solos não antropogênicos de terra firme na Amazônia (KERN & KÄMPF, 1989; KERN & COSTA, 1997; LIMA et al., 2002; KÄMPF & KERN, 2003; NEVES JÚNIOR, 2008; (B) COSTA et al., 2009). As TPIs possuem ainda maiores níveis de Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e de Saturação de Bases, além de melhores condições de estrutura e atividade biológica (SCHMIDT & HECKENBERGER, 2009; WOODS, 2009).

As TPIs são ainda formadas por um grande depósito estável de matéria orgânica, contendo em média 30% de carbono preto ou carvão (black carbon)<sup>2</sup>, originado da queima incompleta da biomassa, sendo este, provavelmente, o responsável pela alta capacidade de estoque de nutrientes no solo (GLASER et al., 2001). Para Pabst (1991), a matéria orgânica das TPIs, além de diferir em termos de quantidade, também difere em sua estruturação: é mais estável e ainda mais rica em componentes organo-metálicos.

---

<sup>2</sup> Black carbon é o carvão encontrado na Terra Preta resultante da prática freqüente de algum método de queima, que ao contrário das cinzas, não é degradável. Essa “queima fria” poderia ser uma forma de “picar e chauscar” onde o material oriundo da limpeza do terreno é queimado ainda úmido, resultando em combustão incompleta; ao contrário da prática adotada atualmente, na qual os restos vegetais são secos por um longo período para só então serem queimados (DENEVAN, 2009).

### 2.3 - Aspectos biológicos das TPIs

A presença de material orgânico estável e a grande atividade biológica indicam que as TPIs podem apresentar alta diversidade microbiana (TSAI et al., 2003). Atualmente são poucas as informações detalhadas e organizadas sobre a biodiversidade destes solos no desenvolvimento da sua fertilidade sustentável. A maioria dos estudos realizados com TPI está voltada para aspectos geológicos e antropológicos, sendo os aspectos biológicos ainda pouco conhecidos (CANNAVAN, 2007).

Em estudos realizados por Kim et al. (2007) verificando a diversidade bacteriana com amostras de solo de floresta e solo TPI, na região Amazônica Ocidental, foi observada a predominância de *Acidobateria* em ambos os solos, porém, solos de TPI apresentaram 25% a mais de diversidade bacteriana. Enquanto Tsai et al., (2003), avaliando a diversidade microbiana em TPI, utilizando técnicas moleculares com base no sequenciamento do gene 16S rRNA, e, área com histórico agrícola e posteriormente abandonada por mais de 20 anos, com vegetação secundária, observou além de uma alta diversidade bacteriana, alta ocorrência de clones homólogos e bactérias não cultiváveis.

As diferenças entre microrganismos de TPIs e solos adjacentes não estão apenas na diversidade, alguns microrganismos encontrados em TPI são capazes de sintetizar as substâncias húmicas de forma diferente dos demais microrganismos encontrados em solos adjacentes. Desta forma, os microrganismos de TPI podem ter participação na formação e sustentabilidade destes solos (CANNAVANN, 2007; DENEVAN, 2009).

O aumento da atividade microbiana adiciona produtos orgânicos decompostos na matriz do solo de TPI formando complexos organominerais. Estes, juntamente com bioprodutos incompletos da combustão, fornecem superfícies carregadas que são largamente ausentes nos solos comuns e aumentam a capacidade de retenção de nutrientes, permitindo assim a continuidade de um ciclo sinérgico de fertilidade das TPIs (WOODS, 2009).

### 2.4 - Microbiota dos solos

Moreira & Siqueira (2002) ressaltam a influência dos microrganismos na melhoria da agregação dos solos, exercendo uma função física na adesão entre as partículas, atuando como ligantes físicos e produzindo agentes colantes, agregantes ou

cimentantes, como polissacarídeos de alta viscosidade e substâncias húmicas, que se acumulam como resultado da ação de organismos heterotróficos sobre a matéria orgânica dos solos.

Em solos argilosos a contribuição dos microrganismos é geralmente pequena (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002), neste sentido, diante do contexto Amazônico, onde a maioria dos solos possui textura arenosa, a atuação destes organismos torna-se imprescindível para a melhoria da qualidade destes solos, bem como para a ciclagem de nutrientes.

Moreira & Siqueira (2002) relatam ainda que dentre os microrganismos existentes no solo, os fungos destacam-se em sua atuação. Seguidos pelos actinomicetos, bactérias produtoras de polissacarídeos extracelulares, leveduras e a maioria das bactérias.

Os fungos, por sua vez, evidenciam sua ação por meio da ação de suas hifas no solo, promovendo a agregação das partículas do solo, principalmente os grãos de areia, além de promover a estabilização dos agregados, ocorrendo deposição do material amorfo entre as partículas de areia e as hifas (SILVEIRA, 1992).

Fungos do solo pertencentes ao filo Glomeromycota (SCHUBLER et al., 2001) são conhecidos com Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) e têm contribuição na manutenção das características do solo e das plantas. Estes fungos formam associações simbióticas com as raízes da maioria das plantas vasculares, que são conhecidas por Micorrizas Arbusculares (MAs) (HARRISON, 1999). Esta associação além de proporcionar benefícios às plantas (HARRISON, 1999) principalmente em condições de solos de baixa fertilidade (SILVA-JUNIOR & CARDOSO, 2006), também beneficia os solos.

As hifas micorrízicas formam uma rede que atinge até 50 m por grama de agregados estáveis, contribuindo de modo significativo para a agregação do solo. Além de produzirem polissacarídeos extracelulares através dos quais se ligam aos macroagregados do solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

O papel dos FMAs também pode ser observado na recuperação de áreas degradadas por sua ação direta no aumento da disponibilidade de nutrientes essenciais e

na resistência à seca e ao calor, bem como pela sua interação com outros processos naturais como a fixação biológica de Nitrogênio atmosférico, e por interações ecológicas com fitopatógenos, aumentando a resistência das plantas à ação dos mesmos (STAMFORD et al., 2005).

O estudo da diversidade de FMAs, suas comunidades e respectivas populações é uma etapa fundamental para diferentes abordagens de pesquisa e uso das MAs. Em sistemas naturais tais estudos podem contribuir para o entendimento da simbiose e do seu papel nos diferentes ecossistemas (SILVA-JUNIOR, 2005). Neste sentido, quando se pretende manejar a simbiose, é imprescindível o conhecimento do componente fungo na predição dos impactos que diferentes manejos do solo podem causar no comportamento e diversidade dos FMAs e, por consequência, na funcionalidade da simbiose.

Estudos indicam que a diversidade de FMAs em sistemas naturais não alterados, geralmente são maiores que em sistemas agrícolas (SIEVERDING, 1991). Porém o tipo de prática agrícola como a rotação ou consorciamento de culturas, pode exercer efeito positivo sobre a diversidade de comunidades de FMAs (HENDRIX et al., 1995). Por outro lado, a predominância de determinadas espécies de FMAs em monocultivos pode estar associada ao declínio do desempenho produtivo das culturas, devido os FMAs serem limitados à colonização de uma só espécie vegetal (FRANKE-SNYDER et al., 2001).

A diversidade, a densidade e o potencial de infectividade dos propágulos de FMAs no solo estão relacionados indiretamente com as condições ambientais de cada ecossistema e diretamente, com a fisiologia do fungo (MORTON, 2003), estando a colonização micorrízica ligada ainda ao genótipo da planta e do fungo, assim como ao ambiente (SOUZA et al., 2003).

As MAs são geralmente inibidas em condições de elevada fertilidade (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Solos com baixa disponibilidade de P tendem ao favorecimento da associação micorrízica. Por outro lado, em solos que apresentam alto teor de P, a simbiose tem menor probabilidade de estabelecimento. Ou ainda, nessas condições de alto teor de P, a simbiose pode perder o caráter mutualístico estabelecendo uma relação parasítica, em razão do balanço simbiótico ser desfavorável ao vegetal,

uma vez que há elevado custo de fotoassimilados para a manutenção do fungo na raiz, e a baixa eficiência relativa de absorção de nutrientes pelo fungo (SIQUEIRA & FRANCO, 1988; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002; SILVEIRA, 1992)

O pH do solo também afeta a associação micorrízica, seja por seus efeitos diretos sobre a permeabilidade das membranas do fungo e da planta, seja pelos efeitos indiretos na disponibilidade de nutrientes. Fungos micorrízicos têm sido encontrados em solos com pH variando de 2,7 a 9,2, ocorrendo entretanto as diferenças entre as espécies (SILVEIRA, 1992). Verifica-se ainda que altos teores de saturação de Al nos solos inibem a germinação dos esporos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

As condições biológicas do solo também interferem na ecologia dos FMAs. Existem vários predadores de hifas, como colêmbolas e inúmeros hiperparasitas e antagonistas, que consomem ou reduzem a viabilidade dos esporos de FMAs no solo. Além disso, actinomicetos do solo produzem substâncias voláteis com alta atividade inibitória na germinação dos esporos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Dessa forma, muitos fatores podem determinar a ocorrência, a diversidade e taxa de colonização de FMAs. Valendo a pena ressaltar que em TPIs que apresentam alta fertilidade natural e valores de pH relativamente mais altos do que os solos adjacentes, o comportamento destes fungos ainda não são conhecidos.

Conhecer o comportamento das FMAs, bem como dos demais microrganismos existentes nestes solos pode constituir importantes ferramentas na tentativa de elucidar gênese e manutenção da fertilidade das TPIs.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Localização e descrição das áreas estudadas

O estudo foi realizado em três sítios arqueológicos no Município de Altamira, Pará, e confirmando o descrito por Kern (2009), os sítios arqueológicos de TP estão localizados ao longo de rios e interflúvios, ocupando elevações marginais e terra firme.

No quadro 1 é apresentada a localização dos três sítios arqueológicos estudados nesse trabalho.

**Quadro 01-** Localização e coordenadas dos sítios arqueológicos

| Sítio | Coordenadas Geográficas | Localização   |
|-------|-------------------------|---|
| 1     | 22M 0351674<br>9640630  | BR 230, Km 13, sentido Altamira-Itaituba                                |
| 2     | 22M 0345149<br>9609030  | Comunidade Princesa do Xingu (a 30 km da sede do município de Altamira) |
| 3     | 22M 0373252<br>9645223  | Praia do Massenori (a 5 km da sede do município de Altamira)            |

#### 3.2 - Coletas de amostras em campo

De cada sítio foram coletadas três amostras de solo de TPI e duas amostras em solo adjacente. Cada amostra foi composta por duas subamostras de solo rizosférico coletadas na profundidade de 20 cm e posteriormente homogeneizadas e colocadas em sacos plásticos (figura 02).

Os pontos de coleta foram escolhidos aleatoriamente dentro da área de TPI e nos solos adjacentes. Em cada ponto de coleta (TPI e adjacente) foram coletadas ainda amostras de raízes finas das plantas presentes, para análise da taxa de colonização radicular.

Em cada sítio foi feita um trincheira de 50 cm de profundidade nas áreas de TPI (figura 02), com o intuito de observar características morfológicas do horizonte antrópico solo (cor, porosidade, profundidade do horizonte TPI). A determinação da profundidade do horizonte antrópico de cada sítio foi realizada pela média de dez perfurações utilizando trado pedológico.



**Figura 02** – Coleta de amostra em solo rizosférico (A), observações morfológicas do horizonte antrópico na trincheira (B), determinação da profundidade e coleta com trado pedológico

### 3.3 - Análises químicas

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, peneiradas e enviadas para a análise química no Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal do Rural da Amazônia – UFRA (Anexo 01)

### 3.4 - Extração de esporos

Os esporos de FMAs foram extraídos a partir de 50 cm<sup>3</sup> de solo, por peneiramento úmido (GERDEMANN & NICOLSON, 1963) e centrifugação em sacarose a 50% (JENKINS, 1964). Em seguida, utilizando microscopia estereoscópica, os esporos foram separados de acordo com a morfologia para contagem dos morfotipos.

### 3.5 - Identificação dos esporos

Esporos representativos dos grupos de morfotipos encontrados foram fixados em lâminas com PVLG (Polivinil-lacto glicérol), reagente de Melzer e PVLG na proporção 1:1 (v:v) e observados em microscópio óptico. A identificação taxonômica dos FMAs foi realizada pela avaliação das características morfológicas dos esporos seguindo as normas estabelecidas por Schenck & Pérez (1987) e INVAM (2009).

### 3.6 - Avaliações da taxa de colonização radicular

As raízes coletadas foram conservadas em álcool a 70% até o momento das análises. Em seguida, foram clarificadas em KOH 10% por 60 min a 90 °C, colocadas em solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% por 5 min e posteriormente em solução de HCl 1% por 5 min.

Em seguida as raízes foram coradas com tinta de caneta (Parker) 5%(v/v) diluída em solução de ácido acético 5% (v/v) por 3 min a 90°C, lavadas duas vezes em ácido acético 5% (v/v) para interromper a reação e remover o excesso de tinta (VIERHEILIG et. al, 1998). Após este processo as raízes foram mantidas em solução de lacto-glicerol.

A taxa de colonização radicular foi determinada pela presença de estruturas fúngicas no tecido cortical, utilizando microscópio estereoscópico e placas reticuladas (GIOVANNETTI & MOSSE, 1980).

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Características morfológicas

O sítio 1 apresentou horizonte antrópico com profundidade média de 20,6 cm (figura 03) e coloração mais clara quando comparada aos outros dois sítios estudados (figura 04). Esta camada de solo caracterizava-se como muito porosa, com presença de macroporos, fator este provavelmente atribuído à alta atividade biológica e alta concentração de raízes observadas no local, além do processo de deposição antrópica normalmente encontrada em TPIs. O sítio localiza-se em área plana, com declividade abaixo de 3% (AMARO FILHO et al., 2008). Na área de TPI foi observado processo de regeneração vegetal com capoeira de três anos de idade. Anteriormente a área foi intensamente explorada para fins agrícolas, passado por processos de mecanização (gradagem) e cultivo de melancia, feijão, milho, e por último, mandioca. O solo adjacente apresentava como cobertura vegetal pastagem estabelecida há mais de cinco anos.

O sítio 2 apresentou horizonte antrópico com profundidade média de 26,7 cm (figura 03) e coloração mais escura (Negra) quando comparada aos outros dois sítios estudados (figura 04). Esta camada de solo também caracterizava-se como muito porosa, O solo deste sítio também apresentou alta concentração de raízes. O sítio localiza-se em área plana, com declividade abaixo de 3% (AMARO FILHO, 2008). A área de TPI apresentava cobertura vegetal de capoeira antiga sem registros de atividades agrícolas nos últimos 20 anos. Enquanto na área adjacente a vegetação era pastagem estabelecida há dois anos e mecanizada para enleiramento<sup>3</sup>.

O sítio 3 apresentou uma camada superficial de Terra Preta com profundidade média de 21,6 cm e coloração intermediária comparada aos outros dois sítios (figura 03). Esta camada de solo caracterizava-se como poroso, havendo uma quantidade comum de poros e algumas galerias ocasionadas certamente pela alta concentração de raízes. O sítio localiza-se em área plana, com declividade abaixo de 3% (AMARO FILHO, 2008). A área de TPI, apresentava capoeira antiga sem registros de atividades

---

<sup>3</sup> Prática de mecanização realizada na região, por meio de raspagem dos restos de limpeza das áreas e das camadas superficiais do solo e amontoamento em fileiras para implantação de pastagens.

agrícolas nos últimos 10 anos. Enquanto a área adjacente apresentava também capoeira em regeneração há mais de 15 anos.



**Figura 03** – Perfis demonstrando horizonte antrópico, sítio 1 (A), sítio 2 (A) e sítio 3 (C)



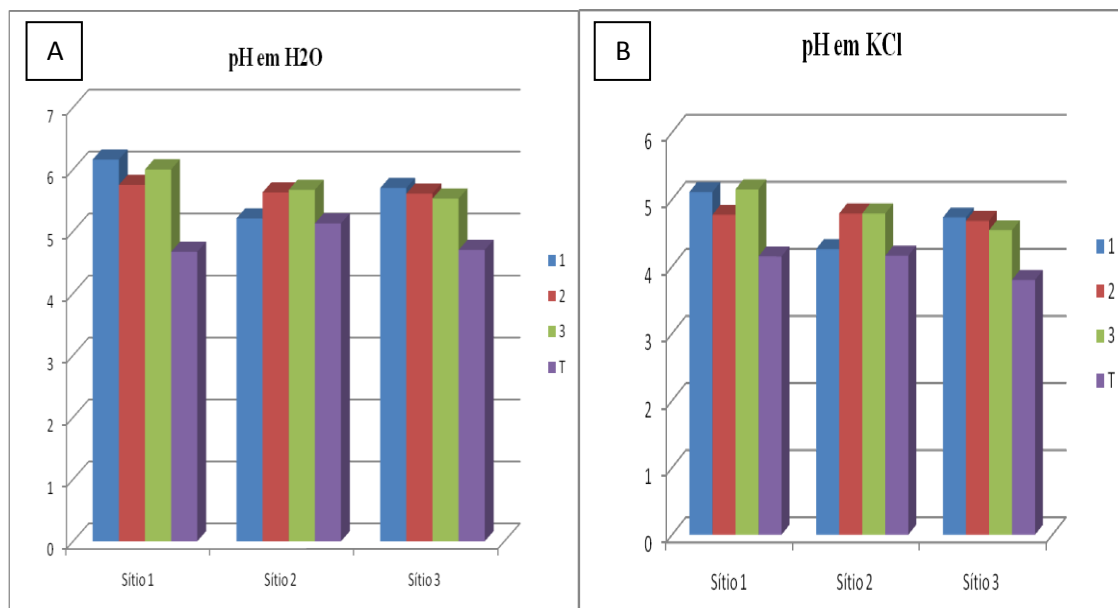
**Figura 04** – Amostras de solos e artefatos cerâmicos encontrados nos três sítios estudados

Diferenças morfológicas como a cor, entre sítios de TPI são justificadas pelas diferentes intensidades, duração e natureza das atividades que os povos exerceram nestas áreas, além dos processos naturais e atividades ocorridas após abandono das áreas (SMITH, 1980; KERN, 1988; SCHMIDT & HECKENBERGER, 2009).

## 4.2 - Características químicas

### 4.2.1 - pH

Os níveis de pH compõem um dos principais fatores de distinção destes solos quando comparado a solos adjacentes, apresentando em todos registros encontrados valores superiores (KÄMPF E KERN, 2003). Todas as amostras de TPI apresentaram teores de pH mais altos do que os teores em solos adjacentes (figura 05).



**Figura 05** – Teores de pH medidos em H<sub>2</sub>O (A) e KCl (B) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T)

Aumentos no pH do solo devido à atividade antropogênica são atribuídos principalmente à presença de cinza vegetal, cujos componentes, em grande parte alcalinos, incluem carbonato de cálcio, hidróxido de cálcio, sulfato de cálcio, sais de ferro e magnésio, e carbonatos e hidróxidos de sódio e potássio (DOWMAN, 1970). A presença de cinza vegetal pode impedir o estabelecimento de condições ácidas decorrentes da decomposição de resíduos orgânicos (WOODS, 2009).

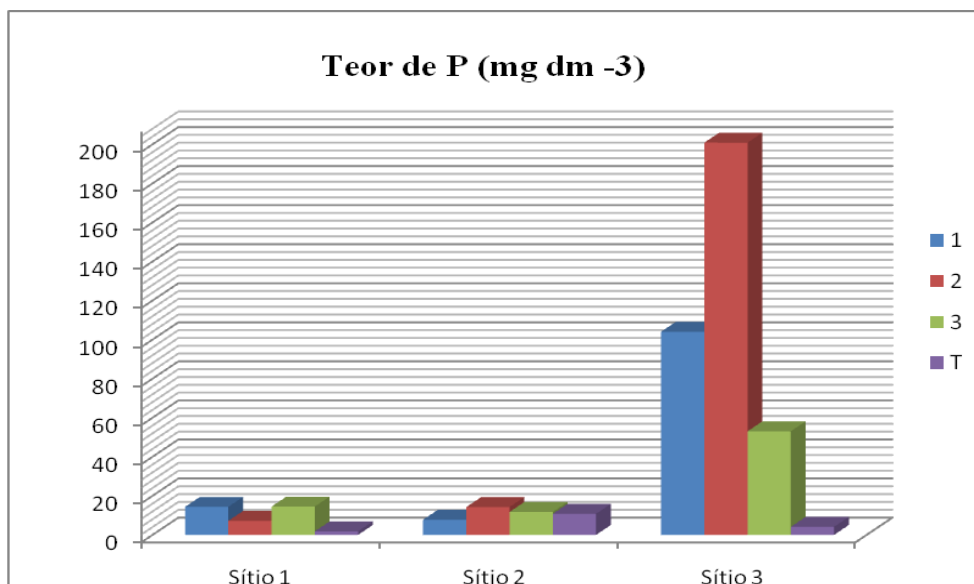
Em ambas as análises de pH, as amostras de TPI dos três sítios apresentaram maiores valores quando comparadas com as amostras de solo adjacente. Embora os valores de pH analisados em água e KCl sejam diferentes seguem tendência de variação semelhante.

### 4.2.2 - Fósforo (P)

Estudos realizados no norte da Europa indicam o fósforo como indicador-chave de atividades antrópicas (WOODS, 2009).

As TPIs dos sítios estudados apresentaram maiores teores de fósforo quando comparados aos solos adjacentes. Isso certamente acontece devido às peculiaridades no processo de formação destes solos. O elemento, na forma de fosfatos, está presente na maior parte dos restos culturais depositados em sítios de ocupação humana, uma vez que urina, plantas, tecidos animais e, principalmente, ossos, contêm grandes quantidades do elemento (WOODS, 2009; (A) COSTA et al., 2009).

Os teores de P encontrados nas amostras de TPI dos sítios 1 e 2 são menores que do sítio 3 (figura 06). Porém, mesmo os valores encontrados no sítio 3, são considerados baixos quando comparados a valores de P encontrados em outros registros envolvendo TPI na Amazônia. Isso pode ser confirmado comparando os valores de P das amostras de TPI dos sítios 1 e 2 com os valores de P das amostras das áreas adjacentes.



**Figura 06** – Teores de P (mg dm<sup>-3</sup> de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T)

O teor máximo de P, com de cerca 7.455 mg kg<sup>-1</sup> de solo no horizonte antrópico foi observado em Itaituba-PA, decrescendo em profundidade (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2002). Teores significativamente menores foram observados em Cachoeira Porteira variando de 30 a 448 mg kg<sup>-1</sup> de solo no horizonte superficial (Kern, 1988). Quanto ao P total, as TPIs de Caxiuanã, apresentaram valores elevados, variando de 2.680 a 2.900 mg kg<sup>-1</sup> de solo (RODRIGUES et al., 2003; KERN et al., 2005).

Conforme Kämpf et al (2003) e Kämpf & Kern (2005), esses valores estão associados à ocupação humana pré-histórica, haja vista, que P e Ca podem ser encontrados em restos de vegetais (mandioca, açaí, bacaba etc), animais (ossos e excrementos) e resíduos de alimentos.

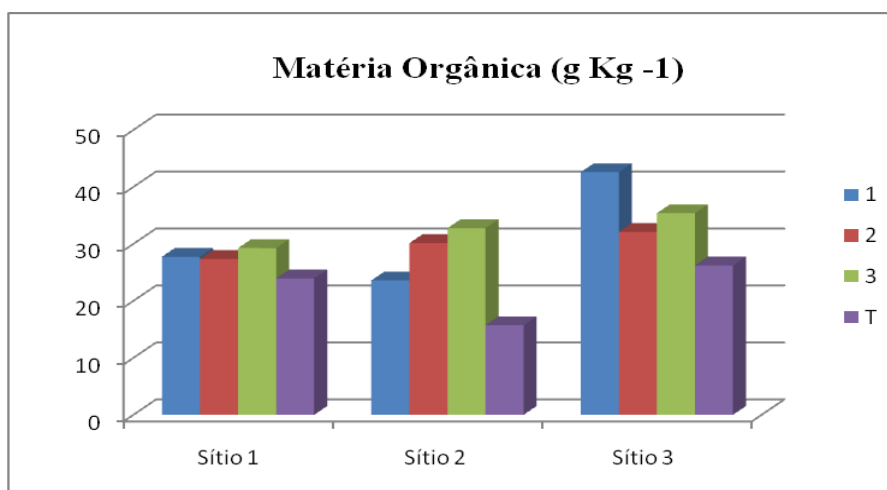
As amostras de TPI do sítio 3 apresentaram maiores teores de P que as TPIs dos demais sítios estudados e ainda teor, pelo menos 12 vezes, maior que do solo adjacente. Isso pode ser um indicativo que este solo foi formado por maior deposição de resíduos ricos em fósforo, seja essa diferença apenas na quantidade depositada ou ainda no maior tempo de utilização da área.

Observou-se ainda no sítio 3, uma grande diferença no teor P nas amostras analisadas, o que é considerado normal por estas áreas não serem formadas uniformemente, acreditando-se que as áreas de maiores concentrações (amostra 2 deste sítio) foram locais de maior aporte de material orgânico (COSTA et al., 2009).

#### 4.2.3 – Matéria Orgânica e C orgânico

As Terras Pretas são ricas em matéria orgânica (M.O.) humificada, recalcitrante e, ao mesmo tempo, de elevada reatividade, possibilitando, assim, a existência de um ambiente favorável às reações de troca catiônica, com colóides inorgânicos e orgânicos do solo, e de complexação de cátions metálicos, entre outra (MADARI et al., 2007).

As TPIs dos sítios estudados apresentaram teores de M.O. superiores quando comparados aos solos adjacentes (figura 07).



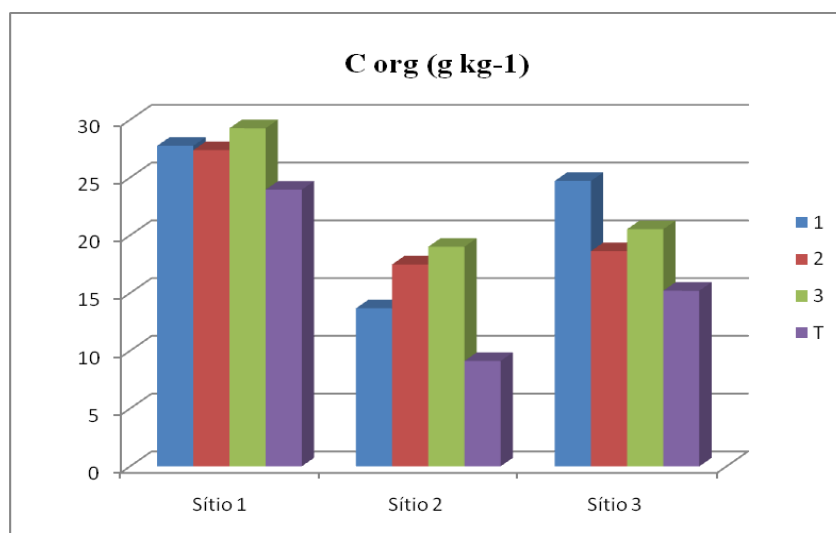
**Figura 07** –Teores de M.O. (g kg<sup>-1</sup> de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T). Método Walkley-Black

Analisando isoladamente as diferenças do teor de M.O. existentes entre amostras de TPI e de solos adjacentes, percebe-se que no sítio 2 é maior devido a dois processos prováveis: (1) o baixo teor de M.O. no solo adjacente pode ser em consequência do

recente manejo do solo para implantação da pastagem existente nessa área; e (2) o processo de formação dessa TPI pode ter sido resultado do manejo intensivo do solo para a agricultura com utilização de práticas como mulching e compostagem, adicionando a estes solos elevados níveis de matéria orgânica, (DENEVAN, 2009).

O alto teor de M.O. encontrado no solo adjacente do sítio 3 em comparação com as demais amostras de TPI e de solos adjacentes pode ser consequência do tipo de cobertura vegetal presente nesta área (capoeira de 15 anos).

De acordo com Kämpf & Kern (2005), as TPIs apresentam valores médios de  $38,9 \text{ g kg}^{-1}$  para C orgânico. Nos sítios analisados as TPIs apresentaram valores abaixo da média proposta, variando entre  $29,27$  e  $17,48 \text{ g kg}^{-1}$  (figura 08).



**Figura 08** – Teores de Carbono Orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$  de solo) encontrados em amostras de solos de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T)

Todas as TPIs analisadas tiveram valores de C orgânico superiores aos solos adjacentes. Assim como no teor de M.O. o sítio 2 apresentou maior diferença no teor comparando a TPI com o seu adjacente, reforçando a hipótese sugerida no tópico anterior.

### 4.3 – Ocorrência de FMAs em TPIs

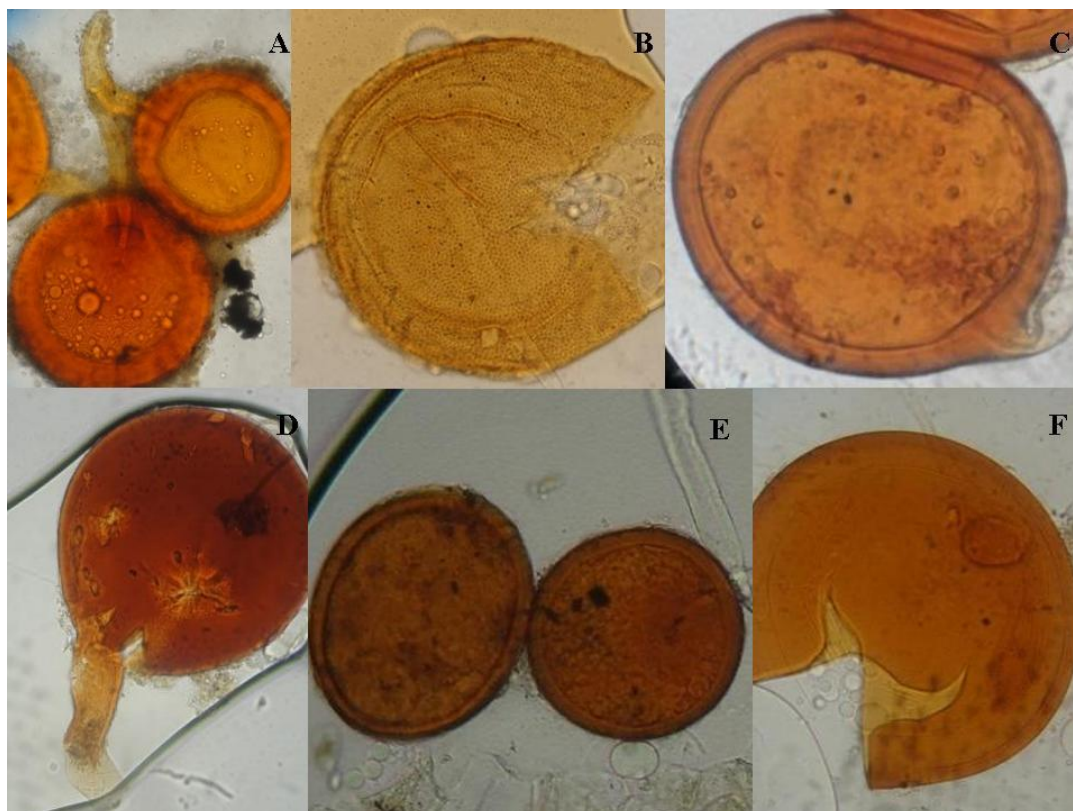
#### 4.3.1 – Diversidade de FMAs

O estudo de diversidade de FMAs inicia no levantamento e identificação taxonômica das espécies presentes num dada área. A identificação taxonômica de espécies de FMAs é baseada nas características morfológicas apresentadas pelos esporos destes fungos. Esta etapa do estudo é laboriosa principalmente devido aos fatores ambientais influenciarem nessas características como cor e tamanho.

Neste sentido a identificação de FMAs não é feita somente pelas informações encontradas pelas características morfológicas, sendo necessário, seguir uma série de etapas, inclusive utilizando ferramentas moleculares, para confirmação da identificação de uma espécie. Assim, neste trabalho tratamos as espécies inicialmente identificadas como morfotipos.

As variações das características do solo como cor, pH, textura, cobertura vegetal e práticas agrícolas podem ter influência direta na modificação morfológica dos esporos de FMAs.

Nos três sítios estudados foram identificados onze morfotipos divididos em três gêneros. Os morfotipos identificados do gênero *Glomus* foram: *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. manihotis*, *G. tortuosum* e *Glomus sp.*. Enquanto do gênero *Acaulospora*: *A. colossica*, *A. denticulata* e *Acaulospora sp.*. Já do gênero *Gigaspora*: *Gi. margarita* e *Gigaspora sp.* (figura 09). E por fim foi verificada a presença de um indivíduo com difícil identificação morfológica (tabela 01).



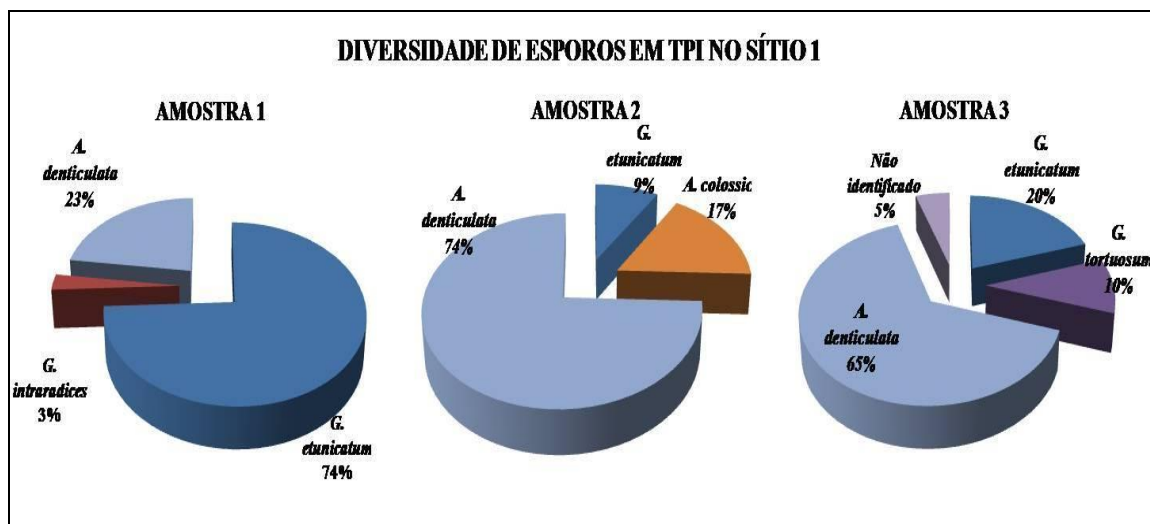
**Figura 09** – Fungo do gênero *Acaulospora* (ontogenia) (A); Morfotipo *A. denticulata* (B); Morfotipo *Acaulospora* sp. (C); Morfotipo *G. intraradices* (D); Morofotipo *Glomus* sp. (E), Morfotipo, *Gi. margarita* (F)

O morfotipo *G. tortuosum* foi predominante nesta análise, estando presente em 86,6% das amostras analisadas, seguido do *G. etunicatum*, presente em 80%. Os morfotipos com menor predominância no estudo foram *A. colossica*, *Gigaspora* sp. e *Sem identificação*, estando presentes em apenas 6,6% das amostras analisadas.

**Tabela 01** – Distribuição numérica de morfotipos encontrados em amostras de solos (50 ml) de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2)

| Morfotipos             | SÍTIO 1   |            |           |            |            | SÍTIO 2  |           |           |           |            | SÍTIO 3  |           |           |           |           |
|------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 1         | 2          | 3         | T1         | T2         | 1        | 2         | 3         | T1        | T2         | 1        | 2         | 3         | T1        | T2        |
| <i>G. etunicatum</i>   | 26        | 11         | 4         | 6          | 29         |          |           | 4         | 3         | 9          | 2        | 1         | 3         | 4         |           |
| <i>G. intraradices</i> | 1         |            |           |            |            |          |           |           | 8         | 2          |          |           | 6         |           |           |
| <i>G. manihotis</i>    |           |            |           | 84         | 60         | 1        | 5         | 1         | 1         |            |          |           |           | 9         | 18        |
| <i>G. tortuosum</i>    |           |            | 2         | 2          | 1          | 4        | 4         | 3         | 12        | 58         | 3        | 14        | 18        | 3         | 12        |
| <i>Glomus</i> sp.      |           |            |           | 242        | 90         |          |           |           |           |            |          |           |           | 16        |           |
| <i>A. colossica</i>    |           | 21         |           |            |            |          |           |           |           |            |          |           |           |           |           |
| <i>A. denticulata</i>  | 8         | 93         | 13        |            |            |          | 2         | 3         |           |            | 3        |           |           |           | 17        |
| <i>Acaulospora</i> sp. |           |            |           | 3          | 26         |          |           |           |           |            |          | 6         |           | 1         | 1         |
| <i>Gi. Margarita</i>   |           |            |           |            | 1          |          |           |           | 42        | 141        | 3        |           |           |           |           |
| <i>Gigaspora</i> sp.   |           |            |           |            |            |          | 1         |           |           |            |          |           |           |           |           |
| Não identificado       |           |            | 1         |            |            |          |           |           |           |            |          |           |           |           |           |
| <b>TOTAL</b>           | <b>35</b> | <b>125</b> | <b>20</b> | <b>337</b> | <b>207</b> | <b>6</b> | <b>11</b> | <b>11</b> | <b>66</b> | <b>210</b> | <b>9</b> | <b>22</b> | <b>25</b> | <b>32</b> | <b>52</b> |

No sítio 1 foram identificados seis morfotipos diferentes nas amostras de TPI: *A. denticulata*, *A. colossica*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. tortuosum* e não identificado (figura 10). Sendo que a Amostra 3 apresentou maior diversidade, com quatro morfotipos identificados enquanto as demais apresentaram apenas três.

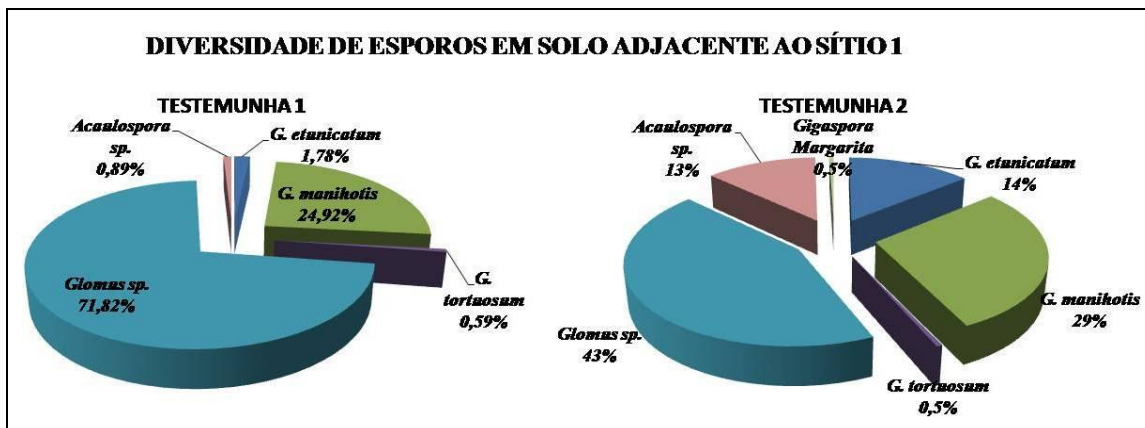


**Figura 10** – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sítio 1.

Observou-se a dominância do gênero *Glomus*, seguido pelo gênero *Acaulospora*. Todavia quando levamos a análise para nível de morfotipo, observa-se a dominância de *A. denticulata*, que além de se apresentar nas três amostras analisadas, apresentou-se em maiores proporções nas amostras 2 e 3.

O morfotipo *G. etunicatum* também foi identificado nas três amostras, no entanto em menores proporções que o *A. denticulata*.

As amostras de solos adjacentes no sítio 1, denominadas de testemunhas (T1 e T2), apresentaram mesma quantidade de morfotipos que as áreas de TPI, sendo identificados seis morfotipos: *Acaulospora* sp., *Gigaspora margarita*, *G. etunicatum*, *G. manihotis*, *G. tortuosum* e *Glomus* sp (Figura 11), todavia alguns são morfotipos diferentes aos de TPI. Sendo que a maior diversidade foi encontrada em T2, com cinco morfotipos identificados, enquanto que em T1 foram encontrados quatro morfotipos.



**Figura 11** – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sítio 1

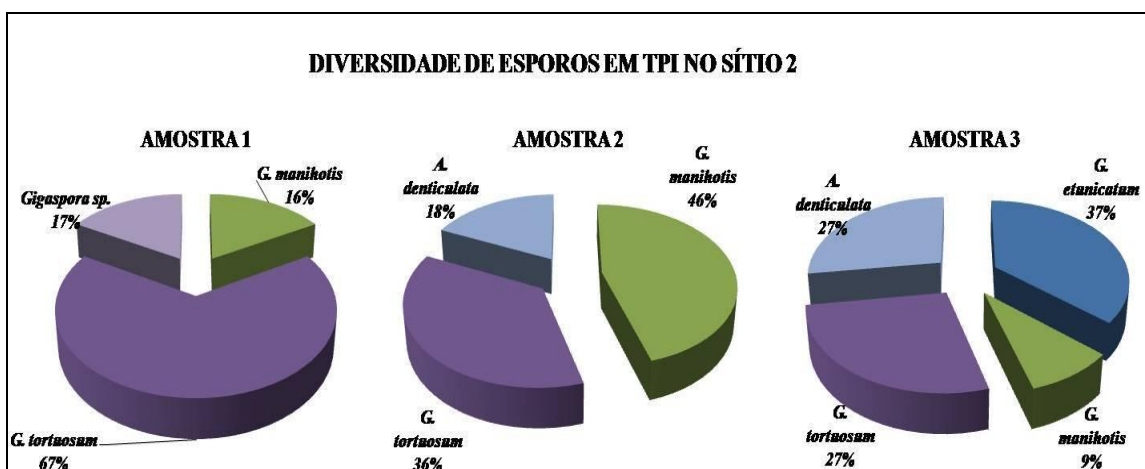
Observou-se ainda a dominância do gênero *Glomus*, mais especificamente do fungo *Glomus* sp., seguido do *G. manihotis*.

As amostras de solos adjacentes apresentaram a mesma quantidade de morfotipo das TPIs do sítio 1, seis morfotipos em cada, porém a diversidade entre as TPIs e adjacentes foi diferente, podendo assim presumir que com o processo de deposição de resíduos e o aumento da fertilidade destes solos ocorreu um processo de seleção natural dos indivíduos. Uma vez que em condições de alta fertilidade a planta não necessita da associação micorrízica para sua sobrevivência, os fungos passaram por um processo de decréscimo das comunidades de FMAs no solo, sendo que alguns morfotipos por não se adaptarem a estas novas condições, acabaram deixando de existir nestas áreas, ficando apenas os fungos adaptados.

Igualmente pode ter acontecido nas áreas adjacentes, os fungos podem ter sido beneficiados pela baixa fertilidade, onde as plantas necessitam fazer as associações em busca de nutrientes em baixa disponibilidade nos solos. Isso favorece as condições de sobrevivência para o fungo no ambiente, selecionando também os mais adaptados. Fatores como cobertura vegetal e manejo adotado também devem ser levados em consideração na diferenciação da diversidade de FMAs nestas áreas. Diante disso, os únicos morfotipos adaptados aos dois ambientes estudados no sítio 1 foram o *G. etunicatum* e *G. tortuosum*.

Já no sítio 2 a diversidade encontrada nas amostras de TPI foi inferior às do sítio 1, apresentando cinco morfotipos: *A. denticulata*, *Gigaspora* sp., *G. etunicatum*, *G. manihotis* e *G. tortuosum* (figura 12). Sendo que a Amostra 3 apresentou maior

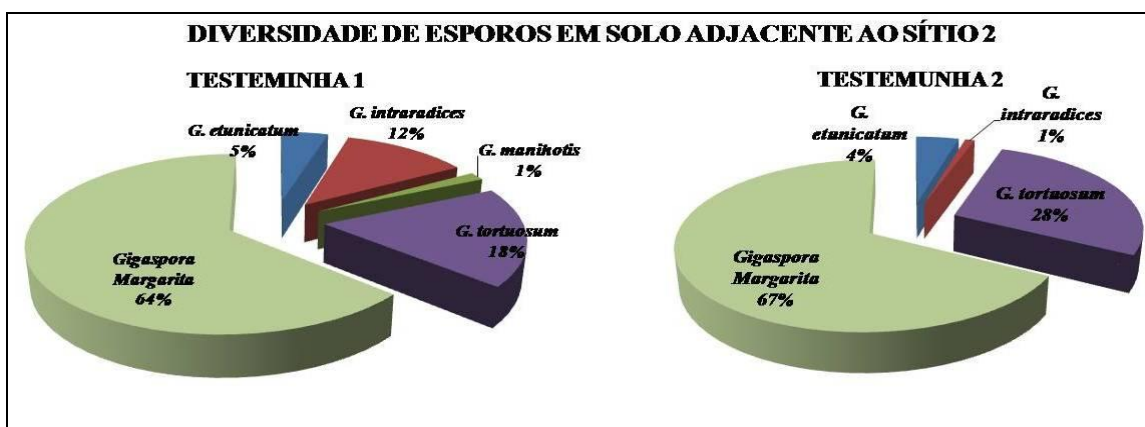
diversidade, com quatro morfotipos identificados enquanto as demais apresentaram apenas três.



**Figura 12** – Distribuição relativa de morfotipos encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sítio 2

Observou-se a dominância do gênero *Glomus* em todas as amostras de TPI deste sítio, mais especificamente do morfotipo *G. tortuosum* seguido do *G. manihotis*.

As amostras de solos adjacentes no sítio 2, denominadas testemunhas (T1 e T2), apresentaram a mesma quantidade de morfotipos que as áreas de TPI do mesmo sítio, sendo identificados seis morfotipos: *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, *G. intraradices*, *G. manihotis* e *G. tortuosum* (figura 13), com dominância do fungo *Gigaspora margarita*.

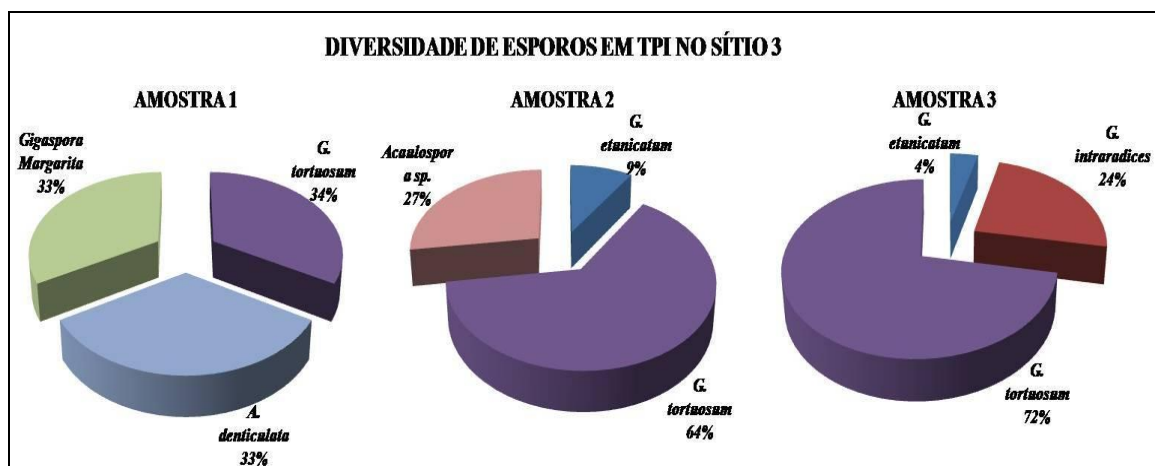


**Figura 13** – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sítio 2

A maior diversidade foi encontrada na testemunha 1, com cinco morfotipos identificados, enquanto na testemunha 2 foram encontrados quatro morfotipos. Vale a pena ressaltar que assim como aconteceu no sítio 1, estes morfotipos são diferentes dos

apresentados nas áreas de TPIs, reforçando a hipótese sugerida anteriormente para diferenciação da diversidade entre solos adjacentes e horizontes antrópicos. Desta forma, os únicos morfotipos adaptados aos dois ambientes estudados no sítio 2 foram o *G. Etunicatum*, *G. tortuosum* e *G. manihotis*.

No sítio 3 a diversidade identificada nas amostras de TPI foi igual à do sítio 1, apresentando seis morfotipos: *A. denticulata*, *Acaulospora sp.*, *Gigaspora margarita*, *Glomus etunicatum*, *G. intraradices* e *G. tortuosum* (figura 14). As três amostras apresentaram a mesma quantidade de morfotipos, porém com diversidades diferentes.



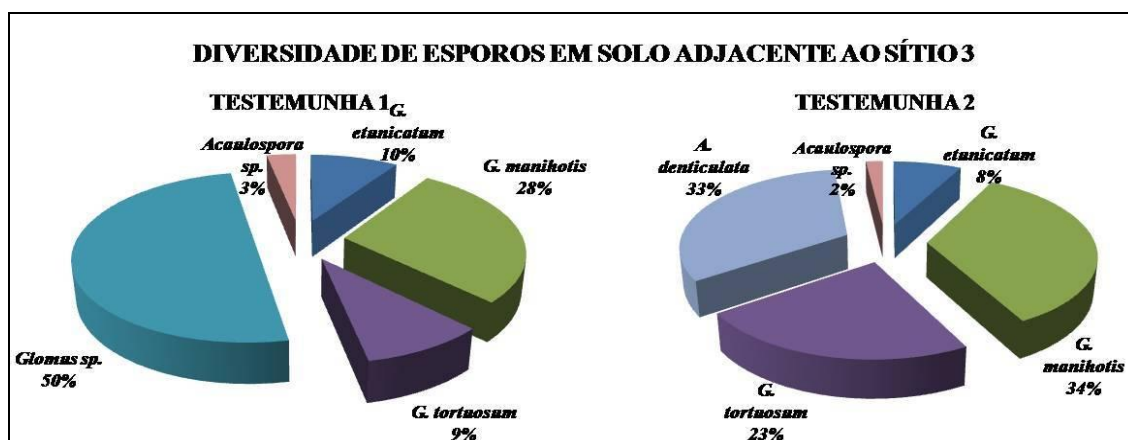
**Figura 14** – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de três amostras de solos de TPI do sítio 3

Observou-se a dominância do gênero *Glomus* em todas as amostras de TPI deste sítio, mais especificamente do morfotipo *G. tortuosum*.

As amostras de solos adjacentes do sítio 3, denominadas testemunhas (T1 e T2), apresentaram a mesma quantidade de morfotipos que as áreas de TPI do mesmo sítio, sendo identificados seis morfotipos: *A. denticulata*, *Acaulospora sp.*, *Glomus sp.*, *G. etunicatum*, *G. manihotis* e *G. tortuosum* (figura 15), com dominância dos fungos representantes dos morfotipos *G. manihotis* e *G. tortuosum*.

As duas amostras de solos adjacentes apresentaram a mesma quantidade de morfotipos, porém com diversidades diferentes. Vale a pena ressaltar que assim como aconteceu nos sítios 1 e 2, alguns morfotipos de solos adjacentes são diferentes dos apresentados nas áreas de TPIs, reforçando a hipótese sugerida anteriormente para diferenciação da diversidade entre solos adjacentes e horizontes antrópicos. Desta

forma, os únicos morfotipos adaptados aos dois ambientes estudados no sítio 2 foram o *G. etunicatum* e *G. tortuosum*.

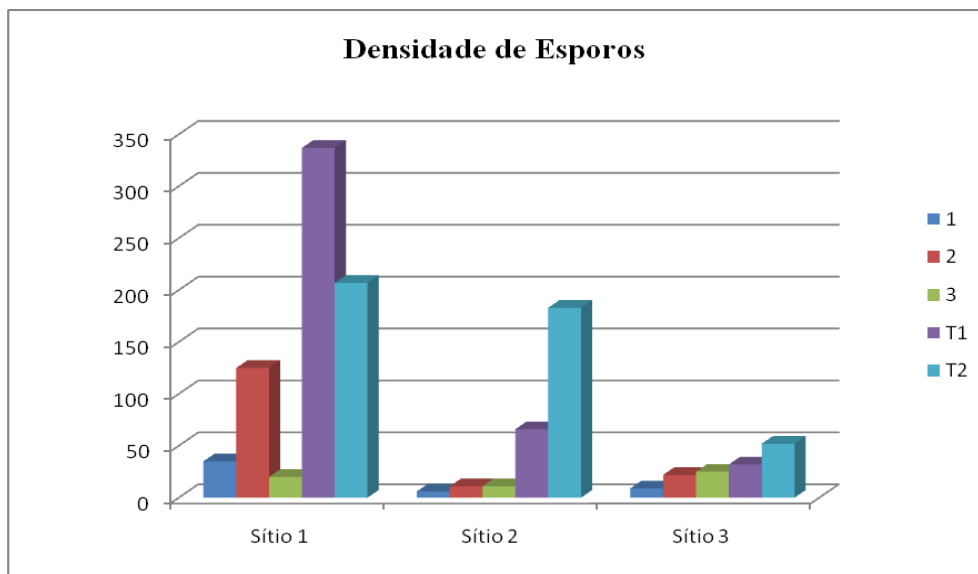


**Figura 15** – Distribuição relativa de morfotipos de FMAs encontrados em 50 ml de duas amostras de solos adjacentes ao sítio 3

Em geral pode-se dizer que os fungos *G. etunicatum*, *G. manihotis* e *G. tortuosum*, são fungos que se desenvolvem em condições adversas, tanto em elevada como baixa fertilidade dos solos, podendo demonstrar dominância em ambos os ambientes. Já os fungos do gênero *Gigaspora* que também apareceram em ambos ambientes, apresentou-se com maior dominância em solos adjacentes. O inverso aconteceu com os fungos do gênero *Acaulospora*, apresentando-se nos dois ambientes, porém em maior concentração nos horizontes antrópicos. O fungo *G. intraradices*, presente em ambos os ambientes, mostrou desempenho semelhante em condições de alta e baixa fertilidade. Enquanto o fungo *Glomus sp.* foi encontrado apenas nas amostras adjacentes, mostrando-se sempre com dominância sobre os demais morfotipos.

#### 4.3.2 – Densidade de FMAs

O número de esporos em solo rizosférico nas diferentes amostras analisadas (TPI e adjacente) está apresentado na figura 16. Houve grande diferença na densidade de esporos entre as amostras de TPI e adjacente. O número de esporos por 50 ml de solo variou de 6 a 125 em amostras de TPI. Enquanto em solos adjacentes o número de esporos variou de 32 a 337. O número médio de esporos em TPI foi de 29,3 e em solos adjacentes 150,6. Estes valores estão dentro da ampla faixa (19 a 815 50 ml<sup>-1</sup> de solo) encontrada por Reis et al. (1999) em um estudo sobre comunidade de FMAs na forma de esporos no solo sob diversas lavouras de cana-de-açúcar.



**Figura 16** – Densidade total de esporos de FMAs encontrados em amostras de solos (50 ml) de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2)

A maior densidade de esporos em TPI foi encontrada no sítio 1, seguidos do sítio 3 e 2. Identificou-se uma relação direta entre os teores de Carbono orgânico no solo com a densidade de esporos.

O sítio 1, que apresentou maior teor de C org apresentou também maior densidade de esporos. O sítio 3 que apresentou valores intermediários de C org quando comparado aos demais também apresentou valores intermediários de densidade de esporos. Já o sítio 2 que apresentou menor teor de C org apresentou também menor densidade de esporos.

Nas amostras de solos adjacentes dos sítios 1 e 2, foi observada maior densidade de esporos. A densidade de esporos nestes dois sítios esteve apenas relacionada à vegetação e manejo. No sítio 1, onde a cobertura vegetal era pastagem e área não havia passado por perturbações mecânicas, teve maior densidade de esporos. Já no sítio 2, também em área de pastagem, porém com perturbação mecânica sobre a área, teve menor densidade quando comparado ao sítio 1.

Os FMAs tendem a esporular em condições de baixa fertilidade como mecanismo de sobrevivência, todavia fatores como a cobertura vegetal também influenciam no comportamento dos fungos. As Gramíneas, que possuem alto poder infectivo para FMAs, estimulam maior esporulação destes fungos devido a restrição de espécies vegetais para associarem aos FMAs. Embora a diversidade apresentada nessas amostras tenham sido de vários morfotipos, há sempre a dominância do número de esporos representantes de um ou dois morfotipos sobre os demais. A diferença entre a

densidade nestes dois sítios pode estar relacionado à perturbação mecânica realizada nas adjacências do sítio 2, em solos perturbados e erodidos os propágulos de FMAs são altamente reduzidos (SILVEIRA, 1992).

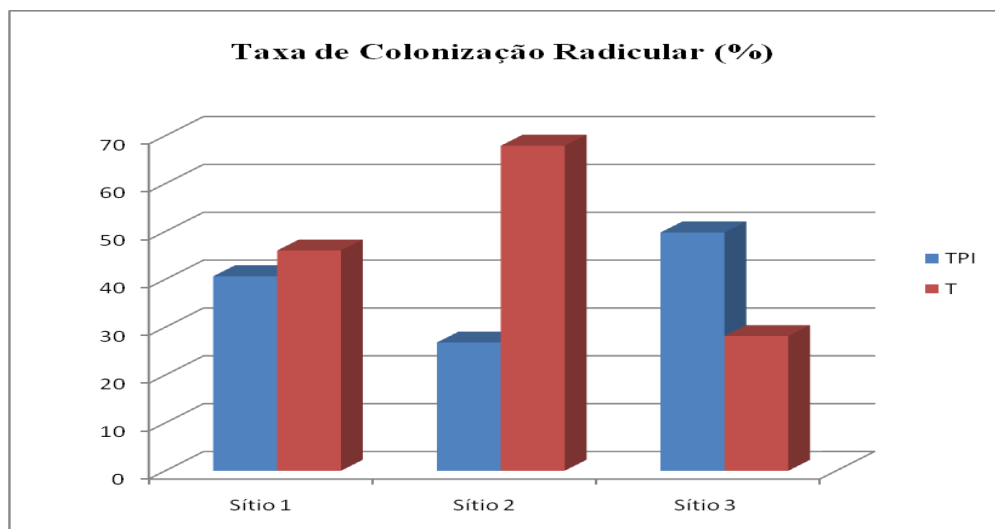
O teor de P não se apresentou como determinante para as amostras de TPI analisadas. O sítio 1 apresentou valores intermediários de P e maior densidade de esporos. Já o sítio 2 com teores menores de P apresentou a menor densidade de esporos. Enquanto o sítio 3 que com maiores teores de P apresentou valores intermediários de esporos quando comparado com dois outros sítios.

O comportamento da densidade de esporos de FMAs, em geral, segue a mesma tendência do comportamento da taxa de colonização radicular em condições controladas de P. Porém em amostras ambientais esse comportamento não segue um padrão definido (PEREIRA JUNIOR, 2006).

#### 4.3.3 – Taxa de colonização radicular

A taxa de colonização em cada amostra variou de 26,8% a 49,8% em amostras de TPI. Enquanto nas amostras de raízes adjacentes a taxa de colonização radicular variou de 28,15% a 67,92% (figura 17).

Os maiores valores de colonização foram encontrados em amostras radiculares de áreas adjacentes aos sítios 1 e 2, onde havia presença de pastagem. Isso se dá devido ao fato de gramíneas serem bastante responsivas à colonização micorrízica, sendo bastante utilizadas como plantas-isca multiplicadoras de propágulos de FMAs



**Figura 17** – Taxa de colonização radicular (%) de amostras de três sítios de TPI (1-3) e de áreas adjacentes (T1 e T2)

A taxa de colonização radicular esteve diretamente relacionada com os teores de P disponíveis no solo nas amostras de TPI. O sítio 1 com teores intermediários de P, apresentou valores médios de colonização. Já o sítio 2 com menores teores de P, apresentou a menor taxa de colonização radicular. Enquanto no sítio 3 com maiores teores de P em TPI, teve uma quantidade maior taxa de colonização de raízes.

Teoricamente, a associação micorrízica não é favorecida em solos com altos teores de fósforo (HARRISON, 1999), todavia, nas condições estudadas quanto maior os teores de P disponíveis no solo, maior foi a taxa de colonização radicular.

Existem ferramentas que possibilitam avaliar se a simbiose entre a planta e o fungo esteja em caráter mutualístico ou parasítico (LAMBALIS, 1996). Em condições de alta disponibilidade de P o fungo pode associar-se à planta de forma parasitária devido ao balanço simbiótico ser desfavorável à planta que por ora fornece maior quantidade de fotoassimilados ao fungo do que este fornece P à planta (GARCÍA-GARRIDO & OCAMPO, 2002). A alta taxa de colonização radicular presente em amostras de altos teores de P encontradas nesse estudo pode estar seguindo esta tendência.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores de pH, P, Matéria Orgânica e Carbono Orgânico apresentaram-se sempre superiores nas amostras de TPI do que os solos adjacentes.

Nos três sítios estudados foram identificados onze morfotipos divididos em três gêneros. Os morfotipos identificados do gênero *Glomus* foram: *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. manihotis*, *G. tortuosum* e *Glomus sp.*. Enquanto do gênero *Acaulospora*: *A. colossica*, *A. denticulata* e *Acaulospora sp.*. Já do gênero *Gigaspora*: *Gi. margarita* e *Gigaspora sp.* E ainda um indivíduo com difícil identificação morfológica (*Não identificado*).

Houve dominância dos morfotipos do gênero *Glomus* em relação aos demais indivíduos, estando presente em 80% das amostras analisadas.

Em geral a quantidade de morfotipos encontrados em TPIs e em solos adjacentes foi a mesma, porém a diversidade dos esporos, apresentando indivíduos diferentes entre as amostras de TPI e adjacente (T).

Houve grande diferença na densidade de esporos entre as amostras de TPI e adjacente. Identificou-se uma relação direta entre os teores de Carbono orgânico a densidade de esporos. Quanto maior o teor de C orgânico maior a densidade de FMAs em TPIs.

A taxa de colonização radicular esteve diretamente relacionada à cobertura vegetal, sendo encontrado os maiores valores nas amostras radiculares de áreas adjacentes aos sítios 1 e 2, onde havia presença de pastagem.

A colonização ainda esteve diretamente relacionada com os teores de P disponíveis no solo nas amostras de TPI, quanto maior o teor de P, maior foi a taxa de colonização. Nestas condições, o fungo pode estar associando-se à planta de forma parasitária devido ao balanço simbiótico ser desfavorável à planta que por ora fornece maior quantidade de fotoassimilados ao fungo do que este fornece P à planta.

Ainda são poucos ou não divulgados os estudos sobre aspectos biológicos em TPI. Os estudos apresentados neste trabalho, apesar de serem importantes para a compreensão do comportamento de FMAs em horizonte antrópico, são apenas uma ínfima parte deste grande ramo da ciência, ainda há necessidade de aprofundar os conhecimentos dos aspectos biológicos destes solos em busca de ferramentas que permitam desvendar sua gênese, bem como possibilitar sua replicação.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do Solo: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.
- CANNAVAN, F. de S. **Diversidade das comunidades bacterianas em solos de terra preta antropogênica da Amazônia Central e Oriental**. Piracicaba – ESALQ – USP, Dissertação de Mestrado, 116 p., 2007.
- COSTA, J. A.; Kern, D.C.; COSTA, M.L.; RODRIGUES, T.E.; KAMPF, N.; LEHMANN, J.; FRAZÃO, F.J.L. **Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas. In: Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p. (B)
- COSTA, M. L. da; BEHLING, H; SUGUIO, K.; KÄMPF, N; KERN, D. C. Paisagens Amazônicas sob a Ocupação do Homem Pré-Histórico: Uma Visão Geológica. In: MOREIRA, A. et al. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p. (A)
- DENEVAN, W. As Origens Agrícolas da Terra Mulata na Amazônia. In: MOREIRA, A. et al. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p.
- DOWMAN, E. A. **Conservation in field archaeology**. London: Methuen and Company, 1970.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Estudos pedológicos e suas relações ambientais. In: **PROJETO de Gestão Ambiental Integrado do Estado do Amazonas**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2001. (Relatório Técnico, 2001/2).
- FALCÃO, N. P. de S.; BORGES, L. F. **Efeito da fertilidade de terra preta de índio da Amazônia Central no estado nutricional e na produtividade do mamão hawái (*Carica papaya* L.)**. In: Acta Amazônica, VOL. 36, 2006.
- FRANKE-SNYDER, M; DOUDS, D.D; GAL VEZ, L; PRILLIPS, P.V.D; WAGONER, P; DRINK.WALTER, L; MORTON.IB. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania. **Applied Soil Ecology**, 2001. v.6, n.1, p.35-48. USA.
- GARCÍA-GARRIDO, J.M.; OCAMPO, J.A. Regulation of plant defence response in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, p.1377-1386, 2002.
- GERDEMANN, J.W; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. **In: Transactions of the British Mycological Society**. 1963. V.46, p.235-244.

- GERMAN, L. A geographical method for Anthrosol characterization in Amazônia: contributions to method and human ecological theory. In: GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. **Amazonian Dark Earths: Explorations in space and time**. Berlin, Springer, 2004. p.29-51.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. Na evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infections in roots. *In: New Phytologist*, 1984: p.489-500.
- GLASER, B.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G. & ZECH, W. The “Terra Preta” phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88:37-41, 2001.
- HARRISON, M. Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. Palo Alto, 1999., v.50, p. 361-389.
- HENDRIX, J.W; GUO, B.Z; NA, Z.Q. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems. **Plant and Soil**. 1995. V.170,n.1, p.131-140.
- INVAM; **International culture collection of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi**. 2001. *In: Home page: <http://invam.caf.wvu.edu> acesso em maio de janeiro de 2010.*
- JENKINS, W.R. A rapid centrifugation technique for separating nematodes from soil. *In: Plant Disease Reporter*, v.48, p.692. 1964.
- KÄMPF, N. et al. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. In: LEHMANN, J. et al (Ed.). **Origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 77-102.
- KÄMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P. et al (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. Cap.320. p. 277.
- KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; KERN, D. C.; CUNHA, T. J. Classificação das Terras Pretas de Índio e Outros Solos Antrópicos Antigos. In: MOREIRA, A. et al. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p.
- KÄMPF, N; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: Palestra apresentada durante o **IX Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Belém – PA, 2 a 9 de novembro de 2003.
- KERN, D. C. **Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará**. (1988). 232 f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

KERN, D. C. et al. Pedogeoquímica de solos arqueológicos da região de Caxiuanã, no Estado do Pará. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Recife. **Anais....** SBCS, 2005.

KERN, D. C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na Região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** [S.I.], v. 13, p. 219-25, 1989.

KERN, D. C.; KÄMPF, N.; WOODS, W. I.; DENEVAN, W. M.; COSTA, M. L. da; FRAZÃO, F. J. L.. As Terras Pretas de Índio na Amazônia: Evolução do Conhecimento em Terra Preta de Índio. In: MOREIRA, A. et al. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p.

KERN, D.C. & COSTA, M.L. Os solos antrópicos. In: LISBOA, P.L.B., org. **Caxiuanã**. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi, 1997. p.105-137.

KERN, D.C.; D'AQUINO, G; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.; SOMBROEK, W.; MYERS, T.P. & NEVES, E.G. Distribution of Amazonian Dark Earths in the Brazilian Amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B. & WOODS, W.I., eds. **Amazonian Dark Earths. Origin, properties and management**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2003. p.51-75.

KIM, J. S.; SPAROVEK, G.; LONGO, R. M. De MELO, W. J.; CROWLEY, D. Bacteria diversity of terra preta and pristine Forest soil from the western Amazon. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 684-690, 2007.

LAMBAIS, M.R. Aspectos bioquímicos e moleculares da relação fungo-planta em micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.) **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA/DCS, DCF, 1996. cap.2, p.5-38.

LEHMANN, J. et al. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil** [S.I.], v. 249, p. 343, 2003.

LIMA, H. N. et al. **Pedogenesis and pre-colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian Black earth") of western Amazonia**. *Geoderma* [S.I.], v. 110, p. 1, 2002.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 176p. (Tese de Doutorado) 2001.

MADARI, B. E. Matéria orgânica de Terra Preta do Índio da Amazônia; características e o papel da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G. et al (Ed.). **Terra Preta**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2007.

MEGGERS, B.J. **Amazônia: Man and culture in a counterfeit paradise**. Washington, Revised edition. Smithsonian Institution Press, 1996. 214p.

- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002.
- MORTON, J.B. [Online]. **Problems and solutions for the integration of glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena**. Homepage: <http://www.springerlink.com/content/h858523772142721/fulltext.pdf>. 2003.
- NEVES JÚNIOR, A. F. **Qualidade físicas de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. Piracicaba – ESALQ – USP, (Tese de Doutorado), 94 p., 2008.
- OLIVEIRA, J. R. C. D. et al. **Caracterização dos solos da Folha Itapacurá-Mirim, município de Trairão, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.
- OLIVER, J. R. The archeology of forest foraging and agricultural production in Amazonian. In: MCEWAN, C.; BARRETO, C.; NEVES, E. (Ed.). **Unknown Amazon: Culture in nature in ancient Brazil**. London: British Museum Press, 2001. P. 50-85.
- PABST, E. **Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e seus significados para a discussão pedogenética**. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi [S.I.], v. 7, n. 1, p. 5-19, 1991.
- REIS, V. M.; PAULA, M.A.; DOBERREINER, J. **Ocorrência de micorrizas arbusculares e da bactéria diazotrófica *Acetobacter diazotrophicus* em cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1933-1941, 1999.
- RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p.19-60.
- ROOSEVELT, A. C. Amazonian anthropology: strategy for a new synthesis. In: ROOSEVELT, A. C (Ed.). **Amazonian indians from prehistory to the present: anthropological perspectives**. Tuscon: University of Arizona Press, 1994. P. 1-29.
- ROOSEVELT, A. C. Arqueologia Amazônica. In: CUNHA, M. C. da (Org.) **Histórias dos Índios no Brasil**. São Paulo: Companhia de Letras, 2002, p. 53-86.
- SCHENCK, N; PERÉZ, Y. 1987. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. In: Synergistic Publications, 3ª Ed Gainesville, 287p.
- SCHMIDT, M. J. & HECKENBERGER, M. J.. Formação de Terra Preta na Região do Alto Xingu: Resultados Preliminares. In: MOREIRA, A. et al. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p.
- SCHUBLER, A; SCHWARZOTT, D; WALKER, **A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution**. *Micological Research*. New York, C.A. 2001 v.105, 1413-1421.

SCHUBLER, A; SCHWARZOTT, D; WALKER, C.A. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. In: **Micological Research**, New York, 2001. v.105, 1413-1421.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschbom, Germany. 1991. 371p.

SILVA-JUNIOR, J.P & CARDOSO, E. J. B. N. **Micorriza Arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2006 v.41 n.5.

SILVA-JUNIOR, J.P. **Comunidade de Fungos micorrízicos arbusculares associados a pupunha e cupuaçu cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia Central**. (Tese de Doutorado). Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2005.

SILVEIRA, A.P.D. Micorrizas. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.). **Microbiologia do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. cap.16, p.257-283.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo**. In: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, Brasília, 1988.

SMITH, N. J. H. Anthrosol and human carrying capacity in Amazonia. In: ANNALS OF THE ASSOCIATION OF AMERICAN GEOGRAPHERS, 70. 1980, Durham,. **Anais...** Durham, 1980. P. 553 – 566.

SOMBROEK, W. G. Aspects of soil organic matter and nutrient cycling in relation to climate change and agricultural sustainability Proceedings. In: **Symposium on nuclear and related techniques in soilplant studies on sustainable agriculture and environmental preservation**. Vienna: IAEA/FAO Joint Division, 1995. p. 15-26.

SOMBROEK, W.G. **Amazon landforms and soils in relation to biological diversity**. *Acta Amazônica* [S.I.], v. 30, p. 81, 2000.

SOUZA. R. G.; MAIA, L.C.; SALES M. F., TRUFFEM, S. F. B.. **Diversidade e potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares em área de caatinga, na Região de Xingó, Estado de Alagoas, Brasil**. In: Revista Brasileira de Botânica. 2003, Vol. 26 n. 1.

STAMFORD, N. P.; STAMFORD, T. L. M.; ANDRADE, D. E. G. T.; MICHEREFF, S. J. Microbiota dos Solos Tropicais. In: **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife : UFRPE, Imprensa Universitária, 2005.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; LIMA, H.N. Na Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian Amazon. In: CONGRESSO DE ARQUEOLOGIA EM COLOMBIA, 3., 2004, Papayan. **Anais...** Papayan, 2004. 5p.

TSAI, S. M., CANNAVAN, F. S.; SILVA Jr., J. P.; CHAVES, M. G.; PASSIANOTO, C. C.; BORGES, C. P. Diversidade bacteriana em terra preta de índio baseada em seqüenciamento do gene 16S r RNA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29; 2003, Ribeirão Preto. **Resumos ...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD – ROM.

VIERHEILIG, H; GOUGHLAN, A.P; WYSS, U; PICHÉ, Y. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. In: Applied **Environmental Microbiology**, 1998.v.64, n.12, p. 5004-5007.

WOODS, W. Os Solos e as Ciências Humanas: Interpretação do Passado. In: MOREIRA, A. **Terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009, 420 p.