



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**RENATA DE OLIVEIRA TEIXEIRA**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PROTEÍNAS DO SOLO RELACIONADAS  
À GLOMALINA SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL**

**Prof. Dr. Ricardo Luis Louro Berbara**

Orientador

**Seropédica- RJ**

**Junho de 2010**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**RENATA DE OLIVEIRA TEIXEIRA**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PROTEÍNAS DO SOLO RELACIONADAS  
À GLOMALINA SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof. Dr. Ricardo Luis Louro Berbara**

Orientador:

**Seropédica 2010**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E PROTEÍNAS DO SOLO RELACIONADAS  
À GLOMALINA SOB DIFERENTES TIPOS DE COBERTURA VEGETAL**

COMISSÃO EXAMINADORA

Aprovada em 07 de junho de 2010

---

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luis Louro Berbara  
(UFRRJ /IA/ Departamento de Solos)

---

Titular : Lic. Msc. Orlando Carlos Huertas Tavares  
(Prof. Colégio Estadual Agrícola Rei Alberto I)

---

Titular : Dr<sup>a</sup> Cristiana Figueira da Silva  
(UFRRJ/ CPGA-CS/ Pós-Doutoranda)

## **DEDICATÓRIA**

### **DEDICO**

Aos meus pais Afonso e Maria do Carmo.  
Ao meu irmão Pedro.

## AGRADECIMENTOS

À Deus que me concedeu o milagre da vida e pelas oportunidades abertas.

À minha família, em especial, aos meus pais Afonso e Maria do Carmo, vocês me ensinaram a discernir entre o certo e o errado. Também ao meu irmão Pedro, pelo amor e apoio durante esse longo tempo longe de casa.

Às minhas grandes amizades adquiridas nessa caminhada, em especial ao Denilson pelo apoio nas horas de angústia e pelas palavras de conforto. Amita, Jú e Milene as quais aprendi a amá-las e respeitá-las como irmãs. Aijanio, José Marcos, Irineu, Claudinha, Carol, Mariana e tantos outros que compartilharam anseios, expectativas e sonhos. Amigo é realmente a família que Deus nos permitiu escolher!

A turma 2005-II pela convivência nesses 5 anos.

Ao quarto F3 410 por ter me acolhido tão bem. Aqui passei os melhores momentos de minha vida ruralina.

Ao professor orientador Ricardo Luis Louro Berbara, pelo estágio oferecido e pela confiança em meu trabalho. Aos amigos de laboratório pela convivência e ensinamento diário, Natalia, Jacson, Nardele, Sael, Adriana, Pedro, Eduardo Mondino, Camila, Deladier, Nemilson, Renata, Beto, Thiago, Michael, Fernando, Andréas, Mariana e também ao Orlando prova de que a vida sempre nos reserva grandes surpresas e ótimas amizades, obrigado pelas noites em que passamos em frente ao computador e por tudo mais.

Ao laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, em especial ao Osmário e Carlos, pelas dúvidas esclarecidas e também pela paciência nos questionamentos.

À Dr<sup>a</sup> Cristiana Figueira da Silva que muito contribuiu para o amadurecimento desse trabalho.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro.

Aos diversos professores do curso de Engenharia Florestal da UFRRJ, pelos ensinamentos e contribuições para minha formação profissional. Aos funcionários não só pelos serviços prestados, mas também pelos exemplos diários de humanidade e humildade.

Por fim a “Mãe Rural” pelo acolhimento e aprendizagem de vida...

## RESUMO

Fungos Micorrízicos Arbusculares formam associações mutualistas com cerca de 70% da família de plantas. Estes são abundantes na maioria dos biomas terrestres e produzem uma glicoproteína chamada de glomalina dentro das paredes das hifas, sendo esta depositada e acumulada no solo. O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físicas do solo, a densidade de esporos de FMAs e a produção de proteína do solo relacionada à glomalina e em área de aléia sob manejo agroecológico, pastagem e floresta. A área situa-se num Planossolo Háplico no campo experimental da Embrapa Agrobiologia/Sistema Integrado de Produção Agroecológica-SIPA localizado em Seropédica, Rio de Janeiro. Foram realizadas duas coletas (verão e inverno) avaliando-se a textura do solo, densidade do solo, umidade gravimétrica, densidade de esporos, PSRG (glomalina total e glomalina facilmente extraível). Os atributos físicos e biológicos analisados, responderam ao tipo de cobertura do solo, deixando claro que o ambiente de floresta se apresenta mais equilibrado que aquele com maior grau de antropização (aléia e pastagem). A glomalina total e a glomalina facilmente extraível foram sensíveis para as diferentes coberturas, apresentando sucessão da pastagem para aléia e floresta. Já os esporos apresentaram comportamento oposto à umidade, teor argila, glomalina total e facilmente extraível, apresentando maior densidade em área de pastagem. A análise de componentes principais (ACP) explicou 94,13% da variabilidade total. Separou as coberturas vegetais, evidenciando que a umidade, silte, argila, glomalina total e glomalina facilmente extraível se correlacionaram positivamente ( $p > 0,05$ ), e negativamente com areia e densidade de esporos ( $p > 0,05$ ) na pastagem.

**Palavras-chave:** indicadores de qualidade do solo; sistemas agroflorestais; análise de componentes principais.

## ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi form mutualistic associations with about 70% of the family of plants. These are abundant in most terrestrial biomes and produce a glycoprotein called Glomalin within the walls of the hyphae, which is deposited and accumulated in the soil. The aim of this study was to evaluate the physical properties of soil, the spores density of AMF and protein production related to soil Glomalin in alley cropping system area under agroecological management, pasture and forest. The area is located in a *Planossolo Haplico* in the experimental field of Embrapa Agrobiologia / Integrated Production System Agroecological-SIPA located in Seropédica, Rio de Janeiro. There were two trials (summer and winter) by assessing the soil texture, bulk density, gravimetric moisture, density of spores, protein production related to soil Glomalin (PSRG) (Total Glomalin and Glomalin easily extractable). The physical and biological analysis, responded to the type of soil cover, making it clear that the forest environment appears more balanced than those with the greatest degree of human disturbance (grazing and alley cropping). Total Glomalin and Glomalin easily extractable were sensitive to different covers featuring succession of pasture to alley cropping and forest. Meanwhile, the spores showed an opposite behavior to moisture, clay content, Total Glomalin and Glomalin easily extractable, showing higher density in pasture. The Principal components analysis (PCA) explained 94.13% of total variability. Separated the vegetation cover, indicating that moisture, silt, clay, total Glomalin and Glomalin facially extracting positively correlated ( $p > 0.05$ ) and negatively with sand and spore density ( $p > 0.05$ ) in the pasture.

**Key-Word:** indicators of soil quality, agroforest systems, principal components analysis.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1 Qualidade do solo .....	2
2.2 Propriedades físicas do solo .....	3
2.3 Fungos micorrízicos arbusculares e proteínas do solo relacionadas a glomalina.....	3
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS:</b> .....	4
3.1. Área de estudo: .....	4
3.2 Amostragem da área: .....	7
3.3 Determinação da umidade: .....	7
3.4 Densidade do solo:.....	7
3.5 Frações granulométricas:.....	8
3.6 Densidade de esporos de FMAs: .....	8
3.7 Determinação das proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG):.....	8
3.8 Análise estatística: .....	9
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:</b> .....	9
4.1 Análises Físicas: .....	9
4.2 Análises Biológicas: .....	11
<b>5. CONCLUSÃO:</b> .....	14
<b>6. BIBLIOGRAFIA:</b> .....	14

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Sistema Integrado de Pesquisa em Produção Agroecológica (SIPA), Fazendinha do km 47, Ecologia, Seropédica - RJ .....5
- Figura 2:** Vista parcial da área com cultivo em aléia há aproximadamente dois anos .....6
- Figura 3:** Vista parcial da área de pastagem formada por capim suázi (*Digitaria swazilandensis* Stent) há aproximadamente seis anos .....6
- Figura 4:** Vista parcial da área de horto florestal com 60 anos de idade .....7
- Figura 5:** Granulometria do solo em três coberturas vegetais (floresta, aléia e pastagem) na profundidade de 0-10 cm .....9
- Figura 6:** Umidade gravimétrica em três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Umidade gravimétrica em estações diferentes (b) .....10
- Figura 7:** Densidade do solo em três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Densidade do solo em estações diferentes (b) .....10
- Figura 8:** Densidade de esporos sob três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Densidade de esporos em estações diferentes (b). .....11
- Figura 9:** Glomalina Total (a) e Glomalina Facilmente Extraível (b) em função de três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA .....12
- Figura 10:** Glomalina Total (a) Glomalina Facilmente Extraível (b) entre as estações .....12
- Figura 11:** Análise das Componentes Principais (ACP) das variáveis físicas e biológicas do solo sob diferentes tipos de coberturas vegetais .....13

## 1. INTRODUÇÃO

As práticas de manejo utilizadas em um sistema de produção podem afetar a densidade e diversidade dos organismos edáficos, tanto os promovendo, quanto os reduzindo. Dentre as diferentes práticas de uso da terra, os sistemas agroflorestais desempenham um papel importante na manutenção da fertilidade dos solos por aumentar a atividade biológica do solo. Além disso, o manejo simultâneo de plantas com diferentes características morfológicas e fisiológicas conduz a um mosaico com diferentes condições de vida para a biota do solo, o que influencia nos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes e conseqüentemente, nas condições de crescimento das plantas (Vohland & Schroth, 1999). Os resíduos de plantas com diferentes composições químicas variam em sua palatabilidade para os organismos do solo e promovem um efeito sobre o microclima, sendo esperado a ocorrência de diferentes efeitos sobre as populações dos mesmos (Tian et al., 1992).

O solo abriga um número imenso de microrganismos, podendo ser encontrados  $3 \times 10$  bactérias e mais de 100 metros de hifas de fungos micorrízicos por grama de solo, por exemplo. A diversidade desses microrganismos é muito grande e mais recentemente os métodos moleculares aplicados à ecologia microbiana têm ajudado a compreender a sua dimensão, indicando que somente 1 a 3% dos microrganismos do solo são conhecidos (Jenkinson & Polwison, 1976; Aquino et al., 2005).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são microrganismos presentes no solo capazes de formar simbiose com as raízes da maioria das plantas do ecossistema terrestre, sendo considerados importantes componentes dos sistemas agrícolas sustentáveis. Estes microrganismos são responsáveis por fornecer nutrientes às plantas, favorecer a retenção de umidade, a agregação e a estabilidade dos solos, o que se deve a diferentes mecanismos, tal como à produção de uma glicoproteína denominada glomalina, que quando depositada no solo funciona como um agente cimentante. Além destes efeitos, existem relatos que os FMAs contribuem para a tolerância de espécies tropicais ao excesso de metais pesados, como observado por Siqueira et al. (1999) para milho e espécies arbóreas.

A persistência dos FMAs no meio e a eficiência da simbiose dependem de complexas relações entre os simbiossitos e entre estes e o ambiente. Modificações na cobertura vegetal, no microclima e no manejo dos ecossistemas podem alterar a densidade dos fungos micorrízicos e na sua eficiência com que a associação micorrízica intervém nos fluxos de nutrientes e no crescimento vegetal (Azcón Aguilar & Barea, 1997).

Os sistemas de manejo têm uma influência muito grande sobre algumas propriedades físicas do solo como por exemplo a densidade do solo, especialmente nas camadas superficiais. Os solos cultivados tendem a ter no decorrer dos anos, maior densidade do que os solos não cultivados. A matéria orgânica exerce uma grande influência sobre a densidade do solo, uma vez que pesa muito menos do que volume igual de sólidos minerais, assim solo com elevado teor de matéria orgânica tendem a ter menores valores de densidade.

Apesar do impacto evidente, poucos são os estudos, em especial em sistemas tropicais, sobre o papel deste simbiossita no ciclo do C e outros estudos.

O estudo teve por objetivo a avaliação das propriedades físicas do solo, densidade de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares e produção de proteínas do solo relacionadas à glomalina em área de aléia sob manejo agroecológico, pastagem e floresta.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Qualidade do solo

O solo é um recurso natural vital para o funcionamento do ecossistema terrestre, e representa um balanço entre as propriedades físicas, químicas e biológicas. Os principais componentes do solo incluem minerais inorgânicos e partículas de areia, silte e argila, formas estáveis da matéria orgânica derivadas da decomposição pela biota do solo, a própria biota, composta de minhocas, insetos, bactérias, fungos, algas, nematóides e gases como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> (Doran et al., 1996). Segundo estes autores, o solo, como um sistema natural vivo e dinâmico, regula a produção de alimentos e fibras e o balanço global do ecossistema, além de servir como meio para o crescimento vegetal, através do suporte físico, disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio para as raízes. Pode atuar na regulação hídrica do ambiente, transformação e degradação de compostos poluentes (Araújo & Monteiro, 2007).

Nos últimos anos, a preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que seu uso e mobilização intensiva podem redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável (Neves et al., 2005). Segundo Doran & Parkin (1994), os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais, refletindo o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema (Araújo & Monteiro, 2007). A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, pode fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo assim para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva.

Os indicadores são utilizados como ferramentas de monitoramento (Tótola & Chaer, 2002). Recentemente, várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas. Dentre elas, destacam-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade do solo (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994). Em oposição a estas, existem também aquelas que consideram que um número reduzido de atributos-chaves, como a matéria orgânica do solo (MOS), podem expressar eficientemente a qualidade do solo (Gregorich et al., 1994; Seybold et al., 1998).

Segundo Visser & Parkinson (1992) as características ideais de um bom indicador de qualidade deve:

- Ser capaz de responder, de forma rápida e acurada, a um distúrbio no solo.
- Refletir os aspectos do funcionamento do ecossistema.
- Possuir processo de avaliação.
- Ser economicamente viável.
- Ter distribuição universal e independente de sazonalidade

O uso de parâmetros microbiológicos, para avaliar a qualidade do solo ou em ensaios de monitoramento, tem sido adotado com frequência, uma vez que estes parâmetros apresentam maior sensibilidade às alterações ambientais do que os parâmetros químicos e físicos (Franchini et al., 2007).

Filizola et al. (2006) defende que os indicadores físicos assumem grande importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de

infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo.

## **2.2 Propriedades físicas do solo**

As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para caracterização dos mesmos quanto ao uso e manejo e também são parâmetros que nos permite inferir sobre os diversos fatores que atuam sobre o solo.

A densidade do solo é afetada por vários fatores, como sistemas de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos adicionados à superfície e teor de matéria orgânica do solo. (Silva et al., 2006). Aumentos na densidade podem ser relacionados à compactação pelo tráfego de máquinas e uso de implementos, com efeitos em superfície ou em sub-superfície. Salimon (2003) encontrou valores para densidade do solo variando de 1,0 a 1,4 Mg dm<sup>-3</sup>, nas profundidades de 0-5 a até 50-60 cm, em solos com horizonte B textural e presença de argila de alta atividade; enquanto que Melo (2003) encontrou para a densidade do solo valores entre 1,1 e 1,7 Mg dm<sup>-3</sup>, no Acre. Wadt (2004) estudando solos do Acre encontrou valores de D<sub>s</sub> entre 1,0 e 1,64 Mg dm<sup>-3</sup>. Segundo esse autor, a presença de concreções ferruginosas tem sido relatada como responsável por superestimar a densidade do solo em Argissolos da Formação Solimões, já que a densidade dessas concreções é superior a dos demais materiais minerais presentes no solo.

A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem simultaneamente na atuação de processos físicos, químicos e biológicos. A agregação é um dos parâmetros que podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração de água e reduz a erodibilidade. A estabilidade dos agregados é influenciada por diversas características do solo, como textura (Feller et al., 1996), teor de óxidos de ferro e alumínio (Oades & Waters, 1991; Dufranc et al., 2004), teor de matéria orgânica (Roth et al., 1991; Feller et al., 1996; Bertol et al., 2000), sílica coloidal, metais polivalentes, carbonato de cálcio (Silva & Mielniczuk, 1997), atividade dos microrganismos (Tisdall & Oades, 1979; Rillig, 2004) e também pelo manejo do solo (Cambardella & Elliot, 1993; Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

## **2.3 Fungos micorrízicos arbusculares e proteínas do solo relacionadas a glomalina**

Os Fungos micorrízicos podem influenciar potencialmente na agregação do solo em diferentes níveis, e o efeito dos fungos na agregação se dá por três processos (Dorioz et al., 1993): Orientação das partículas de argila ao redor das células; secreções de polissacarídeos que induzem ligações locais de partículas de argilas, e, efeito de empacotamento pelas hifas, que conduzem uma nova microestrutura das partículas nas adjacências da célula.

De acordo com Boer et al., (2005) a associação entre fungos micorrízicos e raízes de plantas permaneceram muito bem sucedidas com a evolução. Quase todas as plantas terrestres bem sucedidas (80% angiospermas, 100% gimnospermas e 70% pteridófitos) na natureza são associadas a um ou a vários fungos micorrízicos.

Pesquisas recentes têm mostrado que os fungos micorrízicos arbusculares influenciam positivamente a conservação do solo em áreas nativas e sistemas agrícolas (Wright et al., 1996; Rillig, 2004). Ao formarem a simbiose com as plantas, as hifas produzidas exploram o solo formando uma rede que envolve os agregados conferindo estabilidade aos mesmos (Jastrow & Miller, 1997). Esta rede de hifas também produz uma glicoproteína denominada glomalina, que quando depositada ao solo após o processo de decomposição das hifas pelos microrganismos edáficos, pode se aderir a materiais de origem mineral, aumentando a ligação entre eles (Wright & Upadhyaya, 1996). Na perspectiva biológica, a glomalina pode ser considerada como um dos mais prováveis agentes na estabilização de agregados (Tisdall & Oades, 1979; Reid & Goss, 1981, Oades, 1984,) por promoverem a reorientação e aproximação dos microagregados pela sua expansão e dessecação localizados. Desta forma consiste em um importante processo ecológico para evitar perdas de solo através da erosão em sistemas de clima tropicais (Wright & Upadhyaya, 1996; Rillig et al., 1999). Rillig et al. (2003) sugerem ainda, que a quantificação dessa substância no solo possa constituir um importante indicador de mudanças causadas pelo uso do solo e por isso poderia se tornar um bom indicador da reabilitação.

No entanto, há pouca informação a respeito do papel dos FMAs em processos ecológicos do solo em sistemas naturais ou cultivados sob clima tropical e subtropical. Este é um fato preocupante uma vez que alguns agrossistemas não preservam as condições ótimas para a funcionalidade dos FMAs (Douds & Millner, 1999; Jeffries et al., 2003).

Segundo Berbara et al. (2006), manejos como mecanização excessiva com alta fertilização do solo, aplicação de pesticidas, rotações de cultura com plantas não hospedeiras (ex. Brassicas), poluentes diversos, inclusive orgânicos com uso excessivo de esterco por exemplo, levam à diminuição da otimização desta simbiose seja pela redução da atividade fúngica, de sua diversidade ou da produção de hifas extraradiculares. Além disso, a conversão de ecossistemas preservados em áreas agrícolas modifica a situação de equilíbrio estabelecida e afeta a quantidade e a viabilidade de propágulos, a taxa de colonização dos fungos micorrízicos arbusculares (Wilson et al., 1992), influenciando assim a sua atividade no solo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS:**

#### **3.1. Área de estudo:**

O campo experimental da Embrapa Agrobiologia/Sistema Integrado de Produção Agroecológica-SIPA possui aproximadamente 59 ha exclusivamente destinado ao exercício da agroecologia. Localiza-se em Seropédica, Rio de Janeiro, entre as coordenadas 22° 45'S e 43° 41'W Grw a 33 m de altitude. O solo é classificado como Planossolo Háptico e o clima segundo Köppen classifica-se como do tipo Aw (Neves et al., 2005) (Figura 1).



**Figura 1:** Sistema Integrado de Pesquisa em Produção Agroecológica (SIPA), Fazenda do km 47, Ecologia, Seropédica - RJ (22°45'S latitude; 43°41'W longitude).

Para o estudo foram selecionadas três áreas dentro do SIPA variando o manejo e a cobertura vegetal do solo.

A primeira área (Figura 2) é uma gleba ocupada por culturas perenes intercaladas com linhas de *Gliricídias* (*Gliricidia sepium*) espaçadas a aproximadamente 6 m caracterizando um sistema de cultivo em aléias ou em faixas, onde até 2004 era ocupado com cultivos anuais de hortaliças (alface, chicória, cebolinha, espinafre, rabanete, gengibre e taioba) e culturas como milho, feijão e gengibre. A partir de 2005 a gleba passou a ser cultivada por flores tropicais (heliconiáceas, musáceas e zingiberáceas) e pimenta do reino. O manejo no cultivo em aléias inclui rotação e diversidade de culturas de interesse econômico, aporte diferenciado de adubos orgânicos (material de poda e aplicação de compostos orgânico) e sistema de irrigação.



**Figura 2:** Vista parcial da área com cultivo em aléia há aproximadamente dois anos

A Figura 3 mostra a segunda área de estudo, formada por pastagem com mais de 10 anos de implantação, que desde 1993 está formada por capim rabo de burro e capim colômbio e a partir de 1994 por capim suázi (*Digitaria swazilandensis* Stent).



**Figura 3:** Vista parcial da área de pastagem formada por capim suázi (*Digitaria swazilandensis* Stent) há aproximadamente seis anos

A terceira área é localizada em um Horto Florestal em fundo de bacia (baixada) e com alto teor de umidade, formado desde 1950 com espécies como Acácia-mimosa, Cassia-fistula, Angico vermelho, Acácia - jurema, Palmeira de passeio e Sabiá (Figura 4).



**Figura 4:** Vista parcial da área de horto florestal com 60 anos de idade

### **3.2 Amostragem da área:**

Em cada uma das áreas foram tomadas aleatoriamente 50 amostras simples, que misturadas de 10 em 10, resultaram em cinco amostras compostas a uma profundidade de 0-10 cm. As coletas foram realizadas em outubro de 2008 (estação seca) e em abril de 2009 (estação chuvosa), afim de se avaliar o efeito da sazonalidade.

As amostras foram peneiradas em malha de 8,0 e 4,0 mm, e posteriormente foram secas ao ar e homogeneizadas (terra fina seca ao ar - TFSA) para a execução das análises, sendo algumas amostras mantidas sobre refrigeração até os procedimentos das análises.

### **3.3 Determinação da umidade:**

Para determinação da umidade as amostras foram dispostas em placas de Petri de peso conhecido, pesadas e colocadas em estufa de 105 – 110°C por um período de 24 horas. Após retiradas da estufa, estas foram pesadas e a umidade gravimétrica ( $U_g$ ) foi determinada por meio da fórmula:

$$U_g = 100 (a - b) / b$$

Onde:

a = peso da amostra úmida (g)

b = peso da amostra seca (g)

$U_g$  = Umidade gravimétrica

### **3.4 Densidade do solo:**

A densidade do solo foi determinada através da quantificação da massa de solo presente em uma amostra indeformada e de volume conhecido. Para tanto, utilizou-se anel volumétrico cujos volumes foram 44,17 cm<sup>3</sup> (primeira coleta) e 52,64 cm<sup>3</sup> (segunda coleta). As amostras foram coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade do solo e secas em estufa a 105°C. Assim pesou-se o conjunto e anotou-se o peso. O conjunto foi então colocado em estufa a 105° C e, após 24 horas.

A densidade do solo foi determinada por meio da fórmula:

$$D_s \text{ (g cm}^{-3}\text{)} = a / b$$

Onde:

DS= densidade do solo

a = peso da amostra seca a 105° C (g)

b = volume do anel (cm<sup>3</sup>)

### 3.5 Frações granulométricas:

O método utilizado para a separação das frações granulométricas foi o método da pipeta segundo Day (1965). Para tanto se pesou 10g de TFSE (Terra Fina Seca ao ar), adicionou 150 ml de água destilada e 10ml de NaOH 1N. A solução foi agitada por 15 minutos medindo em seguida a temperatura da suspensão, a partir da qual se calculou o tempo de sedimentação das frações silte e areia, segundo a lei de Stokes:

$$T = 9 \cdot n \cdot h / 2(D_r - D_f) \cdot g \cdot r^2$$

Onde:

T = tempo de sedimentação (segundos);

n = viscosidade do líquido (água) – variável com a temperatura;

h = altura de queda convencional = 5cm;

D<sub>r</sub> = densidade real da partícula – valor médio 2,65g cm<sup>-3</sup>;

D<sub>f</sub> = densidade do fluido – variável com a temperatura (g cm<sup>-3</sup>);

r = raio da partícula – 0,0001cm;

g = aceleração da gravidade – 981cm s<sup>-1</sup>.

Transcorrido o tempo de sedimentação transferiu-se 10ml da alíquota e levou-se para a estufa, a 105°C por 24 horas. A suspensão restante foi passada em peneira de malha 0,053mm na qual ficou retida a fração areia sendo esta seca em estufa a 105°C. Em seguida calculou-se os percentuais de cada fração segundo as relações:

% argila = 1000. (peso da argila – 0,004)

% areia = 10. peso de areia

% silte = 100. (% areia + % argila)

### 3.6 Densidade de esporos de FMAs:

Para determinação da densidade de esporos retira-se de cada amostra de solo 50 ml de solo, previamente seco à sombra e passado em peneira com malha de 5 mm, a extração de esporos dos FMAs foi seguindo as técnicas de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), utilizando-se peneiras com malhas de 38 µm, seguida por centrifugação com sacarose a 45%. A contagem foi feita em placas de Petri canaletadas, com auxílio de estereomicroscópio.

### 3.7 Determinação das proteínas do solo relacionadas à glomalina (PSRG):

A quantificação da PSRG (neste trabalho denominado de glomalina facilmente extraível e glomalina total) foram realizadas segundo o ensaio de Bradford (1976) modificado por Wright & Upadhyaya (1998). Para a quantificação de GFE, foram utilizadas duas repetições de 1,0g de TFSA. A extração foi feita com 8 mL de citrato de sódio 20mM pH 7,0

durante 30 minutos a 121°C. A Glomalina Total (GT) foi extraída com citrato de sódio 50mM pH 8,0 ao longo de 3 ciclos de autoclavagem a 121°C, cada ciclo com duração de 60 minutos. O extrator foi separado do solo através de centrifugação a 3.500 rpm durante 10 minutos. A proteína presente no sobrenadante foi quantificada através do ensaio de Bradford, usando soro-albumina bovina como padrão (Wright et al., 1996). A concentração de glomalina foi corrigida para mg g<sup>-1</sup> considerando-se o peso seco do solo e o volume total de sobrenadante. Neste estudo, não foi possível realizar o ensaio de imunoreatividade (ELISA). Porém, há claras evidências de que a GFE e a GT possuem fortes correlações com as frações imunoreativas (Wright & Upadhyaya, 1998; Wright et al., 1999).

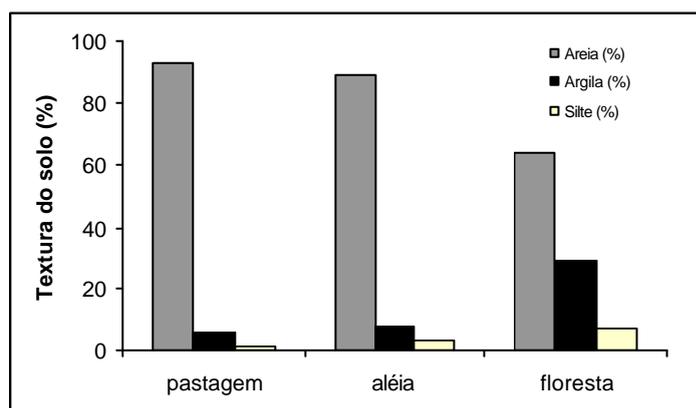
### 3.8 Análise estatística:

Foi realizado o teste de Lilliefors e Bartlett em todos as variáveis estudadas para testar a normalidade e homocedasticidade utilizando o software SAEG 5.0. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey com o programa SISVAR (Ferreira, 2000). A própria natureza é de característica multifatorial. Numerosos processos bióticos e abióticos interagem, contribuindo para formação de padrões estruturais, espaciais e temporais nas comunidades biológicas (Valentin, 2000). Desta maneira, ordenação dos dados foi realizada pela análise de componentes principais utilizando o programa Canoco (Ter Braak, 1988).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

### 4.1 Análises Físicas:

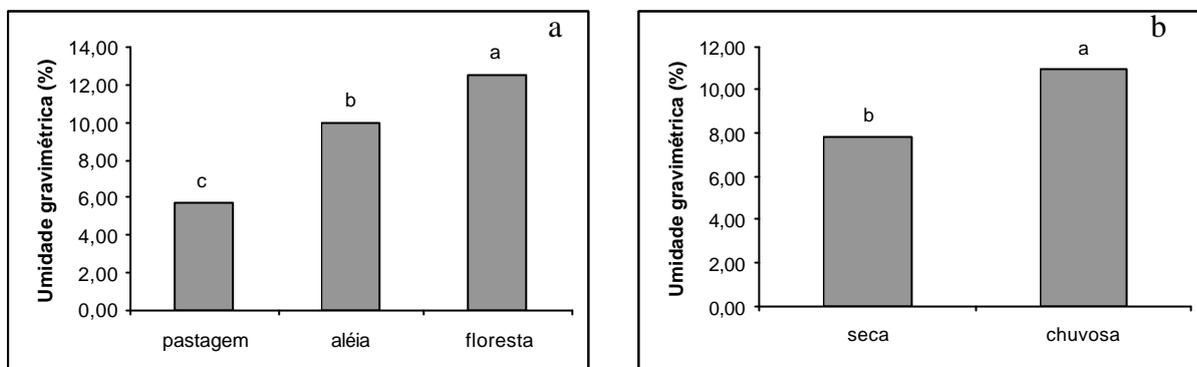
Conforme demonstra a figura 5 a área em questão apresenta elevados teores de areia em todos os tratamentos, sobretudo para as áreas de cultivo em aléias (89%) e pastagem (93%) que de acordo com o sistema brasileiro de classificação simplificada, enquadra-se na categoria textura arenosa.



**Figura 5:** Granulometria do solo em três coberturas vegetais (floresta, aléia e pastagem) na profundidade de 0-10 cm.

Pode-se observar através da figura 6 (a) que a umidade gravimétrica foi mais elevada na floresta (12,61%) tendo diminuído na medida em que ocorre o aumento da ação antrópica (pastagem 5,69%). Isto se deve ao fato de que em solos sob vegetação natural, a preservação da matéria orgânica tende a ser máxima, o que favorece a retenção de umidade no solo (Nobre

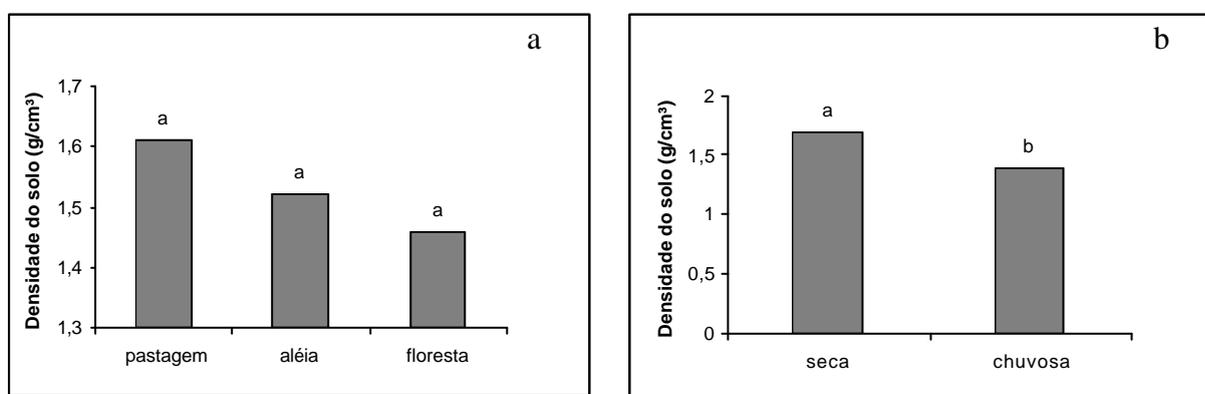
& Gash, 1997), sendo intermediário em aléia devido ao moderado grau de revolvimento. Loureiro (2008) e Villela (2007) nos mesmos ambientes, encontraram valores mais baixos de umidade (2%) o qual atribuíram à textura do solo com elevado teor de areia (baixa adsorção de água), associado ao período de precipitação. Podem-se observar diferenças de precipitação nos dois períodos de estudo (figura 6 b).



**Figura 6:** Umidade gravimétrica em três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Umidade gravimétrica em estações diferentes (b)

As épocas de coleta diferiram-se estatisticamente entre si quanto a umidade gravimétrica, conforme se observa na Figura 6 b, sendo na estação chuvosa 10,98% e na estação seca 7,87%.

Em relação a densidade do solo, não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de cobertura vegetal (Figura 7 a). No entanto, pode-se verificar o efeito da sazonalidade nos diferentes ambientes (Fig 7 b).



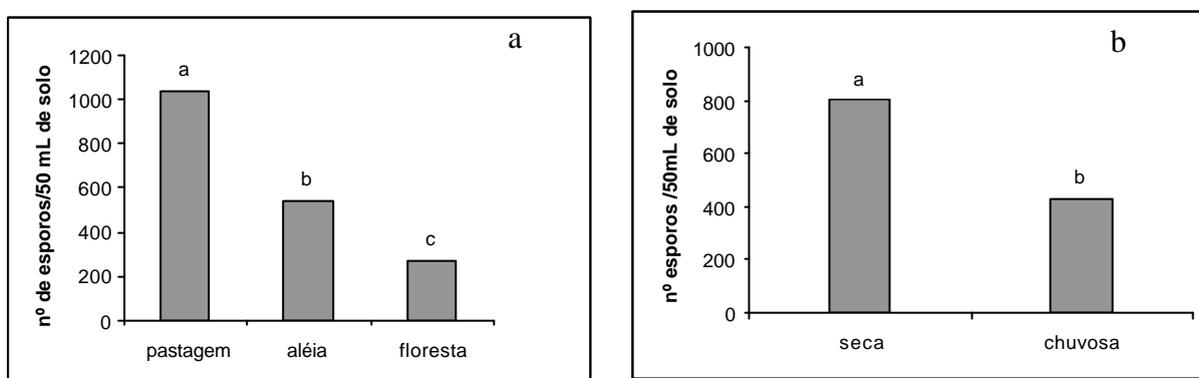
**Figura 7:** Densidade do solo em três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Densidade do solo em estações diferentes (b)

Considerando que estes atributos do solo são variáveis e dependentes do manejo, o fato de não ter sido observado diferenças entre as coberturas vegetais pode esta associado aos altos teores de areia encontrados nos três sistemas avaliados.

Em solos arenosos, o conteúdo de matéria orgânica é baixo, as partículas sólidas estão menos predispostas a formarem agregados e a densidade do solo é normalmente mais baixa que em solos de textura mais fina. A maior densidade na estação seca pode ser atribuída à maior aproximação das partículas, aumentando assim a densidade.

## 4.2 Análises Biológicas:

Os valores de densidade de esporos em pastagem (média de 1043,9 esporos 50ml de solo) foram altos quando comparados aos resultados encontrados em ambientes em equilíbrio como ocorre em Floresta (média de 272,7 esporos 50ml). Em aléia, tais valores foram intermediários não ultrapassando a 600 esporos 50ml de solo (Figura 8 a). Munyanziz et al., (1997) observaram que em florestas não perturbadas a densidade de esporos de FMAs é muito baixa e aumenta com a ocorrência de baixo ou moderado grau de perturbação o que corrobora os resultados obtidos neste estudo. Sylvia & Williams (1992) destacam que uma condição mais estressante do ambiente leva os FMAs a produzirem um elevado número de propágulos com o intuito de sobrevivência. Pelo fato das plantas, na maioria absoluta, formarem associação com micorrizas arbusculares, há um favorecimento da colonização e esporulação, já que esta é dependente da colonização das raízes (Franke & Morton, 1994).



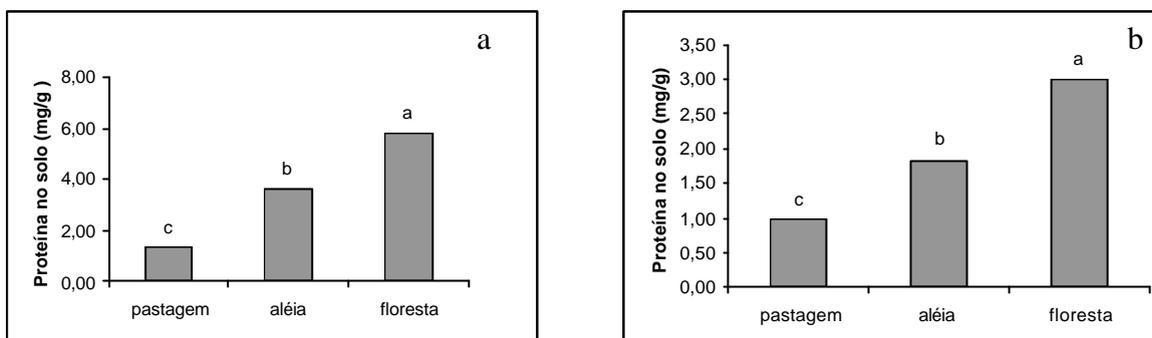
**Figura 8:** Densidade de esporos sob três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA (a); Densidade de esporos em estações diferentes (b).

Observou-se o efeito da sazonalidade sobre os tratamentos (Figura 8 b), uma vez que a estação seca (inverno) apresentou em média 807 esporos 50ml de solo enquanto a estação chuvosa 432,8 esporos 50ml. Este resultado já era esperado uma vez que os esporos são estruturas de resistência e a sua existência no sistema costuma ser reduzida no período das chuvas, quando outras estruturas como hifas são mais abundantes (Caproni et al., 2000).

Em relação a PSRG pode-se observar através da figura 9 (a e b) que ambas as frações (glomalina total - GT e glomalina facilmente extraível - GFE) obtiveram comportamento semelhante. O ambiente Florestal apresentou os maiores valores tanto de GT (5,76 mg/g solo) quanto de GFE (2,99 mg/g solo), em relação aos demais sistemas avaliados. A pastagem apresentou os menores resultados sendo 1,34 mg/g solo para GT e 0,98 mg/g solo para GFE. A área de aléia se manteve intermediária em ambas as variáveis (3,64 mg/g e 1,83 mg/g para GT e GTF respectivamente). Bird et al, (2002) presume que os fatores do solo que afetam a simbiose também regulem a produção de glomalina, visto que a presença e o tipo de vegetal afetam a produção dessa proteína.

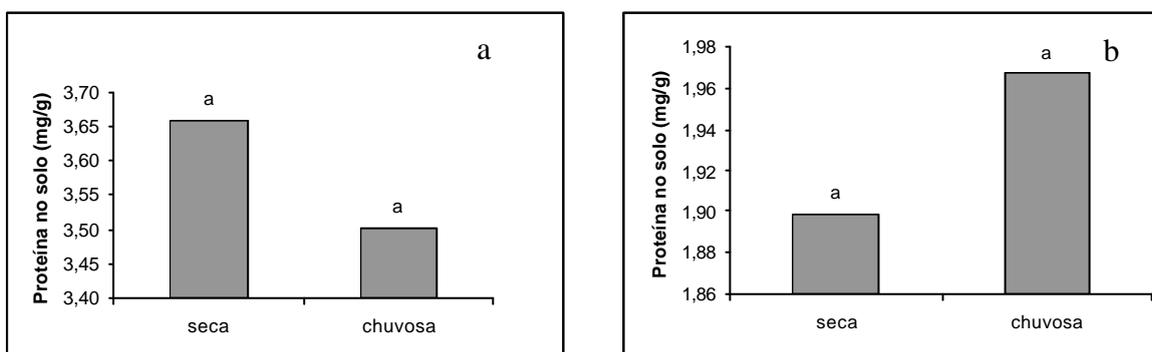
Normalmente, em solos sob vegetação natural, a preservação e aporte da matéria orgânica tendem a ser máximo. Ambientes perturbados, como ocorrem em áreas de pastagens podem ocasionar o decréscimo do conteúdo da proteína, como se pode verificar na figura 9 (a e b). Wright et al, (1999) observaram que a produção de glomalina foi menor em área com certo grau de distúrbio do que em área cultivada, sugerindo que a concentração de glomalina pode ser uma medida específica da qualidade do solo quando comparada com áreas

impactadas. Embora esta glicoproteína possa ser também encontrada na parede dos esporos (Wright et al., 1996) no referido estudo ela não teve relação com a densidade de esporos, o que se pode atribuir à maior presença de glomalina as hifas externas dos FMA.



**Figura 9:** Glomalina Total (a) e Glomalina Facilmente Extraível (b) em função de três coberturas vegetais em sistema de produção agroecológica-SIPA

De acordo com a figura 10 (a e b) a produção de glomalina, tanto a Total como a Facilmente Extraível não sofreram variação com a sazonalidade. De acordo com Rilling & Steinberg, (2002) este comportamento pode ser notado em solos de regiões temperadas, no entanto, a glomalina pode ser tida como um bioindicador a qual além de específica desses fungos, pode ter sua produção afetada por fatores ambientais.



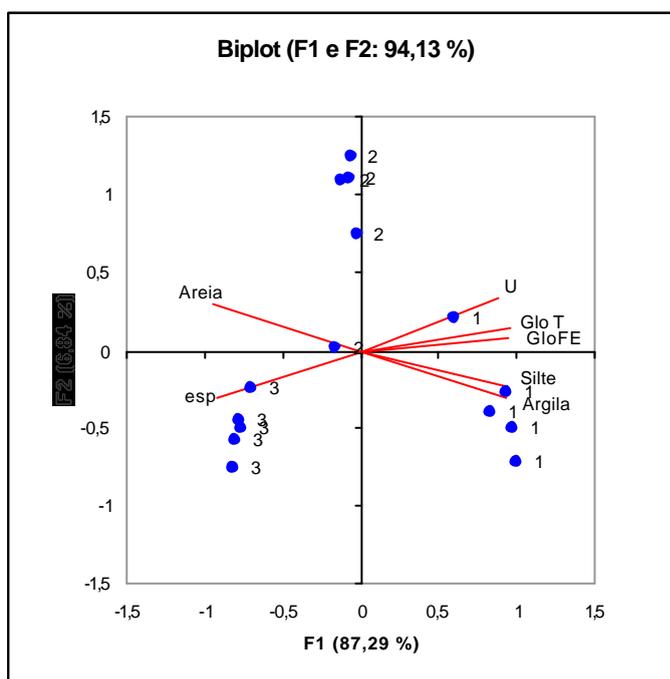
**Figura 10:** Glomalina Total (a) Glomalina Facilmente Extraível (b) entre as estações

A figura 11 mostra que a análise de componentes principais (ACP) explica 94,13% da variabilidade total nas duas componentes, sendo que a primeira apresenta 87,29%. A ACP separou as distintas coberturas vegetais, apresentando um padrão de estágio sucessional de pastagem para aléia e floresta. O F1 está ligado positivamente ( $p > 0,05$ ), à glomalina total e glomalina facilmente extraível as quais ocorrem com maior abundância nas amostras de floresta (1) em área relativamente mais estável (coordenadas positivas das variáveis umidade, silte, argila). Em oposição, projetam-se negativamente ( $p > 0,05$ ) na F1 a densidade de esporos nas amostras pastagem (3) e os valores de areia. Esta primeira componente principal sintetiza o efeito preponderante das condições da cobertura vegetal sobre a atividade fungica. A F2 é formada das contribuições intermediárias das variáveis citadas acima nas amostras de aléia (2). Em ambientes não perturbados a densidade de esporos de FMAs é muito baixa e aumenta com condições estressantes (Sylvia & Williams, (1992); Munyanziz et al., (1997); (Franke & Morton, 1994).

Os estoques de glomalina no solo são determinados pela sua produção e decomposição, pelas condições ambientais que afetariam os dois fluxos independentemente (Rillig, 2004), e também indiretamente, por fatores que controlam o crescimento do FMA (Treseder & Cross, 2006).

Os FMA são mais abundantes quando o suprimento de raízes finas e disponibilidade de plantas hospedeiras são maiores (Treseder & Cross, 2006). A decomposição da glomalina pode ser alterada pelas características do solo como disponibilidade de nutrientes (que poderia influenciar a atividade microbiana) conteúdo de argila (que poderia prover proteção física) e água (Nichols & Wright, 2005). E a produtividade dessa proteína, pode ser influenciada pela textura (Rillig & Steinberg 2002). Estes autores avaliaram que o crescimento do FMA em textura média e grossa por trinta dias produziu menos GFE por unidade de comprimento da hifa em relação aquele crescendo em textura fina. Esta resposta poderia ter resultado das diferenças do potencial hídrico e difusão dos gases.

Foi encontrado grande estoque de glomalina em estágios intermediários da sucessão em ecossistema boreal, onde a produtividade primária líquida (PPL) foi muito alta (Treseder et al., 2004). A glomalina facilmente extraível reativa do solo e a proteína imunoreativa facilmente extraível foram mais altas sob arbustos e pastagens que em área abertas de estepes no Mediterrâneo (Rillig et al 2002a). Estes resultados indicam que a abundância vegetativa pode ser usada para prever a abundância de glomalina, sugerindo que a disponibilidade de C da planta parece ser importante e determinante do estoque de glomalina (Treseder & Turner, 2007).



**Figura 11:** Análise das Componentes Principais (ACP) das variáveis físicas e biológicas do solo sob diferentes tipos de coberturas vegetais

\*Umidade gravimétrica % (U), Densidade de esporos (esp), Glomalina total (glo T) e Glomalina Facilmente Extraível (glo FE), Floresta (1), Aleia (2), Pastagem (3).

Estudos em florestas temperadas, florestas tropicais e pastagens temperadas indicam que estas contêm relativamente altos estoques de glomalina imunoreativa. Em contraste, a abundância do FMA é geralmente baixo em florestas temperadas e tropicais (Treseder &

Cross, 2006). A produção primária líquida pode determinar um salto no carbono disponível para produção de glomalina, e o fungo micorrízico arbuscular pode alocar uma alta proporção de seus recursos para glomalina em florestas temperadas e tropicais em relação a outros biomas (Treseder & Turner, 2007). Há ainda a possibilidade de que a decomposição da hifa do fungo pode ser mais rápida onde a (PPL) é maior, o que pode promover um aumento no acúmulo de glomalina mais rapidamente. Este fato, dentre outros, poderia ajudar a explicar a relação positiva entre a GT e GFE com a floresta, onde se espera uma PPL maior, quando comparada a pastagem.

## 5. CONCLUSÃO:

Os atributos físicos e biológicos analisados, responderam ao tipo de cobertura vegetal evidenciando que o ambiente de floresta se apresenta mais equilibrado que as áreas de pastagem e aléia (ambientes antropizados).

A glomalina total e a glomalina facilmente extraível foram sensíveis ao tipo de cobertura apresentando sucessão da pastagem para aléia e floresta. Em contrapartida, os esporos apresentaram comportamento oposto à umidade, teor argila, glomalina total e facilmente extraível apresentando maior densidade em área na pastagem sendo considerado ambiente mais estressado.

O sistema agroflorestal em aléias se mostrou um sistema de cultivo conservacionista menos perturbado, apresentado produção intermediária de glomalina total e glomalina facilmente extraível.

## 6. BIBLIOGRAFIA:

AQUINO, A. M.; ALMEIDA, D. L.; G., J. G. M.; DE-POLLI, H. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e N inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 1, 2005, p. 1087-1093.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal** (UFU), v. 23, 2007, p. 66-75.

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

BERBARA, R. L. L. ; SOUZA, FRANCISCO ADRIANO de ; FONSECA, H. M. A. . Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: Manlio Silvestre Fernandes. (Org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 1 ed. Viçosa: SBCS, v. 8, 2006, p. 53-88.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.; ALMEIDA, E.; KURZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem Capim Elefante Anão cv mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.5, 2000, p.1047-1054.

BIRD S.B., HERRICK J.E., WANDER MM, WRIGHT SF, Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution** 2002, 116:445–455.

BÔER, W; Larissa B. Folman, Richard C. Summerbell, Lynne Boddy Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development **FEMS Microbiology Reviews** **29**, 2005, p. 795–811.

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

BRADY N.C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos. 1989. 898 p.

BROWER, J.E.; ZAR, J.H.; VON ENDE, C.N. **Field and laboratory methods for general ecology**. 3 ed. Dubuque: Wm C. Brown Publishers, 1990. 273p.

CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária, Dourados. **Anais. Dourados**: Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Agrobiologia 2000, p.141-153.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, 1993, p. 449-457,.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; ABOUD, A.C. de S.; BERBARA, R.L.L.; GRANHA, J.R. de O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em áreas degradadas pela mineração de bauxita e reflorestadas com espécies florestais nativas em Porto Trombetas-PA. In: Reunião Brasileira de Fertilidade Do Solo E Nutrição De Plantas, 24., Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 8., Simpósio Brasileiro De Microbiologia Do Solo, 6., Reunião Brasileira De Biologia Do Solo, 3., Oct. 2000, Santa Maria-RS. p.186 **Biodinâmica do solo. Resumos...**Santa Maria: SBCS, SBM, 2000. FERTBIO 2000.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Reunião Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, 1990, p.99105.

CHRISTENSEN, B. T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. V. (Ed.). **Evaluation of soil organic matter models**. Berlin: Springer-Verlag, 1996, p. 143-159. (NATO ASI Series, v. I, 38).

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A. Ed., methods soil analysis. **Madyson, American Society of Agronomy**, n.1 1965 p 545-66.

DE-POLLI, H.& GUERRA, J.G.M. Biomassa microbiana: perspectiva para uso e manejo do solo. In: Alvarez, V. H.; Fontes, L. E.F. & Fontes, M. P. F. (Ed.) **O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos de Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. Viçosa: SBCS, 1996, p. 551-564

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D.L. (Org.) **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, 1996. p.1-54.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W. et al. **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**, 35. American society of Agronomy special Publication, Madison, WI, 1994. p. 3-21.

DORIOZ J.M., ROBERT M. and CHENU C., The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organization. An experimental approach. **Geoderma** **56** 1993, p. 179-194.

DOUDS, D.D.; P.D. MILLNER.. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agri., Eco. Environ.* 1999,74: 77-93.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, 2004, p.505-517.

FELLER, C., BALESSENT, J.; NICOLARDOT, B., CERRI, C Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: Lewis, 1996. p.309-359.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. **In...45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258

FILIZOLA, H. F. ; SOUZA, M. D. de ; GOMES, M. A. F. ; BOEIRA, R. C. . Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: Estabilidade de agregados e argila dispersa em água.. In: Wagner Bettiol; Otávio Antonio de Camargo. (Org.). Lodo de esgoto: **Impactos ambientais na agricultura**. 1a ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006, p. 137-148.

FRANKE, M. & MORTON, J. B. Ontogenetic comparisons of arbuscular mycorrhizal fungi *Scutellospora heterogama* and *Scutellospora pellucida*: revision of taxonomic character concepts, species descriptions, and phylogenetic hypotheses. **Canadian Journal of Botany** **72**: 1994, p 122-134.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E. e HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**. v.92 p.18-29, 2007.

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

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. e ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, 1994, 74:367-375.

JASTROW, J.D., MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.F., STEWART, B.A. (Eds.), **Soil Processes and the Carbon Cycle**, CRC Press, Boca Raton, 1997, p.207-223.

JENKISON, D.S. & POLWSON, D.S. The effect of biocidal treatment on metabolism in soil. V. **A method of measuring soil biomass**. *Soil Biol. Biochem.*, 8:209-213, 1976.

KEMPER, W.D., CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of Soil Analysis**, Part 1. Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA, 1965, p.499-510.

LARSON, W.E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. ; STEWART, B.A. (eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science of America, 1991. p.37-51.

LOUREIRO, D.C. **Biomassa microbiana e constituintes lábeis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo fitotécnico e cobertura vegetal**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008, 50p (Tese de mestrado).

LOVELOCK, C.E., S.F. WRIGHT, K.A. NICHOLS. Using Glomalin as an Indicator for Arbuscular Mycorrhizal Hyphal Growth: an Example from a Tropical Rainforest Soil. **Soil Biology & Biochemistry**. In press. 2003.

MELO, A. W. F. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

MUNYANZIZ, E.; KEHRI, H. K.; BAGYARAJ, D. J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 6, p. 77-85, 1997.

NEVES, M. C. P.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, S. R.; RIBEIRO, R. L. D.; ALMEIDA, D.L. de. Sistema Integrado de Produção Agroecológica ou Fazendinha Agroecológica do Km 47. In: ALQUINO, A., ASSIS, R.L.(org). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, EMBRAPA. Informação tecnológica. 2005. 147-172p.

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

NOBRE C.A., GASH J.H.C. Desmatamento e clima: o maior estudo já feito na Amazônia. **Ciência Hoje**, v.22, n 128, p 32-41, 1997.

OADES, J.M.; WATERS, A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.29, n.6, p.815-828, 1991.

REID, J.B. e GROSS, M.J. Suppression of decomposition of 14 C-labeled plant roots in the presence of living roots of maize and perennial ryegrass. **Journal of Soil Science** v. 33, p. 387-395, 1981.

RESCK, D. V. S.; VASCONCELLOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 169-196.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 28, n 4, p.355-363, 2004.

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 and Biochemistry**, v.35 p. 1257-1260, 2003.

RILLIG, M.C., P.D. STEINBERG,. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? **Soil Biol. Biochem.** 34: 1371-1374, 2002.

RILLIG, M.C., K.K. TRESEDER, M.F. ALLEN. Global change and mycorrhizal fungi. p. 135–160. In M. van der Heijden and I. Sanders (ed.) **Mycorrhizal ecology**. Springer Verlag, New York. 2002a.

RILLIG, M.C.; WRIGHT SF, ALLEN MF, FIELD CB. Rise in carbon dioxide changes soil structure. **Nature** v.4, p. 628, 1999.

ROTH, C.H. et al. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.241-248, 1991.

SALIMON, C. I. **Respiração do solo sob floresta e pastagens na Amazonia sul ocidental**, Acre. 2003. 97p. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. São Paulo, 2003.

SEYBOLD, C.A., M.J. MAUSBACH, D.L. Karlen, and H.H. Rogers. Quantification of soil quality. In: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart (Eds.) **Soil Processes and the Carbon Cycle**. CRC Press, Boca Raton. 1998, p. 387-404.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Sequential versus parallel density fractionation of silt-sized organo-mineral complexes of tropical soils using metatungstate. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 259-262, 2001.

SILVA, M. A. S; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.329-337, 2006.

SIQUEIRA, J.O.; POUYÚ ROJAS, E.; MOREIRA, F.M.S. Micorrizas arbusculares no crescimento pós-transplante de mudas de árvores em solo com excesso de metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.569-580, 1999.

SOLLINS, P. Factors affecting nutrient cycling in tropical soils. In: Proctor, J. (Ed.), **Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems**. British Ecological Society, p 85-96. 1989.

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: ASA Special Publication, 1992. p. 101-124.

TER BRAAK, C. J. F. 1988. CANOCO—an extension of DECORANA to analyze species environment relationships. **Plant Ecology** v.75, p. 159-160

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 24, 1992 p. 1051-1060.

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

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade de solos. **Tópicos Avançados em Ciência do Solo**, v.2, 2002, p.195-276.

TRESEDER, K.K., TURNER, K.,M. Glomalin in Ecosystems. **Soil Sci. Soc. Am.J.** v. 71, 2007, p. 1257-1266.

TRESEDER, K.K., A. CROSS. **Global distributions of arbuscular mycorrhizal fungi. Ecosystems** v. 9, 2006, p.305–316.

VALENTIN, J.L., Ecologia numérica: Uma introdução a análise de dados ecológicos . ed. **Interciência**. Rio de Janeiro 2000. p. 117.

VILLELA, A.L.O., **Variabilidade Espacial da Qualidade Físico-Hídrica dos solos de uma Unidade de Pesquisa em Produção Agroecológica**. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 55p (Tese de mestrado).

VISSER, S.; PARKINSON, D. Soil biological criteria as indicator of soil quality: Soil microorganisms. **American Journal of Agriculture Alternative**, Washington, v. 7, 1992, p. 33-37.

VOHLAND, K.; SCHROTH, G. Distribution patterns of the litter macrofauna in agroforestry and monoculture plantations in central Amazonia as affected by plant species and management. **Applied Soil Ecology**, v.13, 1999, p. 57-68.

YODER, R.E. A direct method of soil aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agriculture**, v.28, 1936, p.337-351.

WILSON, J., INGLEBY, K., MASON, P.A., IBRAHIM, K. e LAWSON, G.J. Long-term changes in vesicular-arbuscular mycorrhizal spore populations in *Terminalia* plantations in Côte d'Ivoire. In **Mycorrhizas in Ecosystems**. (D.J. Read, D.H. Lewis, A.H. Fitter e I.J. Alexander, eds.). CAB Internacional, Cambridge.1992, p.268-275.

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

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

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein or arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161 (9): 575-586,1996.

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

ZHU Y. G., MILLER R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. **Trends in Plant Science**. v.8, 2003, p.407-409.