



**MAURÍCIO VICENTE ALVES**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E  
*Oligochaetas* EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
USO DA TERRA NO ALTO SOLIMÕES - AM**

**LAVRAS – MG**

**2011**

**MAURÍCIO VICENTE ALVES**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E *Oligochaetas* EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE USO DA TERRA NO  
ALTO SOLIMÕES - AM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Microbiologia e Bioquímica do Solo, para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora

Dra. Fatima Maria de Souza Moreira

Coorientador

Dr. Moacir de Souza Dias Junior

**LAVRAS – MG**

**2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Alves, Maurício Vicente.

Propriedades físicas do solo e *Oligochaetas* em diferentes sistemas de uso da terra no Alto Solimões - AM / Maurício Vicente Alves. – Lavras: UFLA, 2010.

118 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Fatima Maria de Souza Moreira.

Bibliografia.

1. Minhoca. 2. Matéria orgânica. 3. PCA. 4. CCA. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

**MAURÍCIO VICENTE ALVES**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E *Oligochaetas* EM DIFERENTES  
SISTEMAS DE USO DA TERRA NO  
ALTO SOLIMÕES - AM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Microbiologia e Bioquímica do Solo, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de dezembro de 2010.

Dr. Moacir de Souza Dias Junior	UFLA
Dr. Ronald Zanetti	UFLA
Dra. Vanesca Korasaki	UFLA
Dr. Dilmar Baretta	UDESC

Dra. Fatima Maria de Souza Moreira  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2010**

*A todos os pesquisadores, estudantes e professores que amam estudar o solo e sua vida.*

*A minha família, em especial minha esposa Francieli Aparecida Gomes Alves; meus pais, Albarry Arruda Alves e Salete Mari Casagrande Alves e minha irmã,*

*Graciely Casagrande Alves.*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela minha vida.

A minha família, pelo carinho, confiança, paciência e amor.

A minha esposa, pela paciência, amizade e amor dedicados a mim, principalmente neste último ano, quando enfrentamos vários transtornos e ela esteve sempre ao meu lado me apoiando.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concedida para a realização do Doutorado.

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

Ao projeto BioBrasil, pois tal publicação apresenta parte dos resultados do projeto internacional “Conservação e Manejo Sustentado da Biodiversidade do Solo”, implementado em sete países tropicais – Brasil, Costa do Marfim, Índia, Indonésia, Quênia, México e Uganda. Este projeto é coordenado pelo Tropical Soil Biology and Fertility Institute do CIAT (TSBF-CIAT), com financiamento do "Global Environmental Facility" (GEF) e suporte para a implementação do "United Nations Environment Program" (UNEP). O componente brasileiro do projeto é denominado BiosBrasil e é coordenado pela UFLA ([www.biosbrasil.ufla.br](http://www.biosbrasil.ufla.br)). As opiniões expressas nesta publicação são de seus autores e não necessariamente refletem aquelas das instituições às quais os mesmos são filiados, do "United Nations Environment Programme" ou do "Global Environmental Facility."

À professora Fatima Maria de Souza Moreira, pela orientação, confiança e apoio durante todos estes anos.

Ao Professor Moacir Souza Dias Junior, pela coorientação, amizade e companheirismo.

Aos professores e funcionários do DCS, que estavam sempre prontos a nos ensinar, escutar e ajudar.

Aos membros da banca, Dr. Dilmar, Dr. Ronald e Dra. Vanesca, por aceitar o convite e pelas valorosas sugestões.

A todos os meus amigos que participaram juntos nesta caminhada, em especial a Amanda, Ana Paula, Anna, Bruno(s), Cândido, Carla(s), Cezar, Ciro, Claudio, Daniela, Eduardo, Elen, Enio, Euzelina, Fábio(s), Gabriela(s), Geila, Giovana, Gislene, Guilherme(s), Karine, Jerusa, Jeruza, Júnior Cesar, Letúzia, Luiz Gustavo, Márcia, Mayesse, Mayra, Maykom, Michele, Milson, Piero, Plínio, Marilena, Paula(s), Paulo(s), Rodrigo(s), Silvio, Teotónio, Thiago, Vico, Viviane, Vitoria, Veridiana, Waldete e Walmes.

Em especial a Marlene, Dulce, Doroteo e Pezão, pela ajuda, amizade e companheirismo.

Aos meus colegas da UNISUL, Celso, Everton e Ismael, pela força, amizade e apoio.

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, ajudaram na construção deste trabalho.

## RESUMO

Atualmente, existem poucos trabalhos avaliando a qualidade física do solo na região do Alto Solimões. Esse assunto fica mais restrito ainda quando se busca correlação com a presença de *Oligochaetas* e a sua influência na estrutura física do solo, avaliada em diferentes sistemas de uso da terra (SUT). Assim, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: verificar se as propriedades físicas (estabilidades de agregados, densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro e microporosidade e resistência à penetração (Rp)) e matéria orgânica do solo (Mos) são influenciadas pelos sistemas de uso da terra (SUT); verificar se as *Oligochaetas* sofrem influência dos SUT e do tempo, e sua relação com os atributos físicos e matéria orgânica do solo na região do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. A área experimental está localizada no município de Benjamin Constant, AM e foi dividida em seis janelas, as quais foram selecionadas seis SUT: Floresta Primária (FP); Floresta Secundária em estágio avançado de regeneração (FSA); Floresta Secundária em estágio inicial de regeneração (FSI); Agrofloresta (AGRO); Agricultura (AGRI) e Pastagem (PA). Em março de 2008 (primeira campanha de coleta), foram coletados em cada SUT, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, 10 amostras indeformadas e deformadas para a avaliação da Ds, Pt, macro e microporosidade, RP, DMG e Mos. Em janeiro de 2009, foram coletados cinco amostras de cada SUT para avaliação da presença *Oligochaetas* nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, por meio da retirada de um monólito quadrado de 50 cm lado, nos mesmos pontos que as amostras coletadas na primeira campanha. Os dados de abundância e biomassa foram submetidos a uma análise de componentes principais (ACP). Também foram feitas análises de correlação canônica (ACC) entre os atributos biológicos (abundância de minhocas e enquitreídeos e biomassa total), atributos físicos (Ds, Dp, DMG, RP, macro e microporosidade, areia, argila e silte) e matéria orgânica o solo (Mos). O PA apresenta altos valores de DMG, em função de pisoteio animal, valores de RP maiores, reflexo da compactação, valores PT na profundidade de 0 a 10 cm acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , macroporosidades menores ou iguais a  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e microporosidade acima de 0,33, valores considerados não ideais, mostrando ser o SUT mais degradado. Maiores abundância e biomassa de minhocas foram encontradas na PA e AGRO, em comparação aos outros SUT, mantendo o mesmo comportamento nos SUT com o passar dos anos. A ACP demonstrou que PA e AGRO estão fortemente correlacionadas com a abundância de minhocas e biomassa. Os atributos físicos que mais auxiliaram na separação dos SUT foram Mos, Rp, DMG e demonstraram alta correlação com a abundância de minhocas.

Palavras-chave: Minhoca. Estabilidade de agregados. ACP.

## ABSTRACT

Nowadays there are few studies about the soil physical quality in the region of Alto Solimões (Amazon-Brazil). The number of works are fewer when the objective is to establish a correlation with the presence of *Oligochaeta* and its influence on the soil physical structure, related to different land use systems (LUS). Hence, the objectives of this work were: to verify if the soil physical properties and soil organic matter are influenced by land use systems; to verify if the *Oligochaeta* are influenced by the SUT and the environment and their correlation to soil physical properties and soil organic matter in the region. The experimental area was located in the city of Benjamin Constant – (Amazon-Brazil) and was divided into six windows and were selected six SUT for this study: Primary Forest (PF), secondary forest regeneration in Advanced Stage (FSA), Secondary Forest in Early Stage of regeneration (FSI), Agroforestry (AGRI) Agriculture (AGRI) and pasture (PA). In March 2008 samples were collected in each SUT and at depths of 0-3, 10-13 and 25-28 cm, 10 in each SUT for to proceed the analytical determination of the density, porosity, penetration resistance (Rp), stability aggregates (dmg), chemical properties, organic matter (SOM), particle density and texture. In January 2009 other samples were collected in five points of each SUT to evaluate the presence of *Oligochaeta* at 0 to 10 and 10 to 20 cm of depths. The samples was obtained by digging square monolith withing 0.5 m across, and it was collected in the same place delimited in 2008. In an another moment, the data of presence and biomass amount of *Oligochaeta* were subjected to a Principal Component Analysis (PCA).It was also computed the canonic correlation analysis (CCA) between the soil biological attributes, soil physical attributes and soil organic mater. The soil of the FP could be considered a originally soil not ideal once it showed low values of DMG, PT values above 0.50 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> and macroporosity below 0.1 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>. The PA showed the highest values of DMG, according to animal trampling, higher PR values, reflecting in the compression, PT values at depth of 0 to 10 cm above 0.50 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>,macroporosity greater than or equal to 0.1 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup> and microporosity above 0.33. These values are considered not ideal, showing that this SUT is the most degraded. The physical attributes that were more significant to differ the SUT was, MOS, Rp, dmg and they demonstrated high correlation with the abundance of earthworm.

Keywords: Earthworm. Stability of aggregates. ACP.

## SUMÁRIO

	<b>CAPITULO 1</b> .....	11
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Matéria orgânica do solo</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Atributos físicos do solo</b> .....	18
<b>2.2.1</b>	<b>Estabilidade de agregados</b> .....	18
<b>2.2.2</b>	<b>Densidade do solo</b> .....	19
<b>2.2.3</b>	<b>Porosidade do solo</b> .....	22
<b>2.2.4</b>	<b>Resistência à penetração</b> .....	23
<b>2.3</b>	<b>Fauna invertebrada edáfica</b> .....	25
<b>2.3.1</b>	<b>Influência da fauna invertebrada edáfica na estrutura do solo</b> .....	26
<b>2.3.2</b>	<b>As minhocas e suas estruturas biogênicas, influenciando os atributos físicos do solo</b> .....	29
<b>2.3.3</b>	<b>Sistemas de uso do solo e a influência sobre minhocas (<i>Oligochaeta</i>) refletindo nos atributos físicos do solo</b> .....	31
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37
	<b>CAPITULO 2 Propriedades físicas do solo e matéria orgânica em diferentes sistemas de uso da terra na amazônia ocidental</b> .....	48
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	50
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	53
<b>2.1</b>	<b>Caracterização climática, solo e relevo</b> .....	53
<b>2.2</b>	<b>Vegetação e uso da terra</b> .....	53
<b>2.3</b>	<b>Plano Amostral</b> .....	54
<b>2.4</b>	<b>Amostragem do solo</b> .....	55
<b>2.4.1</b>	<b>Caracterização química do solo</b> .....	56
<b>2.4.2</b>	<b>Caracterização física solo</b> .....	58
<b>2.4.2.1</b>	<b>Propriedades físicas do solo</b> .....	60
<b>2.4.3</b>	<b>Análise estatística</b> .....	61
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	62
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	75
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	76
	<b>CAPITULO 3 <i>Oligochaetas</i> correlacionadas com atributos físicos do solo na região do alto solimões – Amazônia</b> .....	81
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	83
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	87
<b>2.1</b>	<b>Caracterização climática</b> .....	87
<b>2.2</b>	<b>Solo e relevo</b> .....	88
<b>2.3</b>	<b>Vegetação e uso da terra</b> .....	88

2.4	<b>Plano Amostral</b> .....	89
2.4.1	<b>Amostragem das <i>Oligochaetas</i></b> .....	90
2.5	<b>Atributos físicos</b> .....	91
2.6	<b>Atributos químicos e matéria orgânica do solo</b> .....	92
2.7	<b>Análise estatística</b> .....	92
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	94
3.1	<b><i>Oligochaetas</i></b> .....	94
3.2	<b>Análise de Componentes Principais (ACP)</b> .....	98
3.3	<b>Análise de Correlação Canônica (ACC) entre a abundância e biomassa de <i>Oligochaeta</i> e os atributos físicos do solo</b> .....	104
4	<b>CONCLUSÃO</b> .....	111
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	112

## CAPITULO 1

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

Grande parte da região amazônica não tem características ideais para a prática agrícola. As monoculturas extensivas e os grandes projetos pecuários, em geral impactantes ao meio natural amazônico, não estão ao alcance da unidade familiar típica da Amazônia (comunidades ribeirinhas e/ou indígenas). Na tentativa de reverter este cenário, buscam-se alternativas ecologicamente corretas por meio de pesquisas que contribuem significativamente para o desenvolvimento sustentável dessa região, com custos sociais, econômicos e ambientais mínimos.

Em virtude do avanço da fronteira agrícola na região Amazônica, a floresta, como ecossistema em equilíbrio, vem sofrendo grandes alterações em sua estrutura natural, agravada por oscilações climáticas relacionadas como El Niño. Este avanço torna-se ainda mais preocupante, tendo em vista que 78% dos solos da região são ácidos e de baixa fertilidade natural, o que limita o uso contínuo na agricultura (BRASIL, 1977).

Os solos da terra firme da região do Alto Solimões são formados a partir de sedimentos terciários da Formação Solimões (LIMA et al., 2006). As características deste material de origem, as condições de drenagem, o tempo de exposição e a atuação dos agentes bioclimáticos resultaram em solos menos profundos e menos intemperizados, em comparação aos solos de terra firme derivados de sedimentos terciários/cretáceos da formação Alter-do-Chão, na parte mais leste da região amazônica (LIMA et al., 2006). As condições restritas de drenagem, resultantes das características ambientais e da granulometria fina dos sedimentos originais dos solos da região do Alto Solimões, condicionaram um processo de intemperismo mais lento do que aquele normalmente observado

nos solos bem drenados da Amazônia, o que resulta em perfis mais rasos e de maior riqueza em minerais primários, como, por exemplo, esmectidas e ilitas (LIMA et al., 2006). Tal composição difere expressivamente daquela observada nos solos de terra firme da região mais oriental da Amazônia, derivados de sedimentos mais antigos e de rochas cristalinas.

A transformação que o ser humano vem fazendo nos ecossistemas florestais tem alterado drasticamente o equilíbrio da natureza, fazendo com que a dinâmica desses processos seja abalada. Os recursos naturais vêm ultrapassando os limites ecológicos, reduzindo a diversidade biótica e abiótica, que resulta na alteração de inúmeros processos, tanto em florestas naturais, como em cultivadas (FERNANDES; SOUZA, 2003). Os estudos das modificações em diferentes ecossistemas devem avaliar a estreita relação entre a vegetação e o solo. Primeiramente, influencia as propriedades e a dinâmica dos solos, quer diretamente, pelo suprimento de matéria orgânica, ou indiretamente, na estruturação, capacidade de retenção de cátions, aeração, fornecimento de nutrientes, e o comportamento hídrico que, conseqüentemente, influencia o tipo de vegetação do local (LONGO; ESPÍNDOLA; RIBEIRO, 1999).

As alterações de ecossistemas naturais ou cultivados podem promover graves conseqüências à biodiversidade, aos seus solos e, conseqüentemente, à sua sustentabilidade. Dessa forma, estudos nos quais se analisam os efeitos causados pela natureza e pela ação antrópica sobre as propriedades do solo constituem importantes recursos para avaliações ou previsões sobre os danos ambientais, servindo como subsídios para discussões sobre a manutenção da qualidade desses solos (LONGO; ESPÍNDOLA; RIBEIRO, 1999).

A avaliação da qualidade física do solo envolve a obtenção de dados de difícil aquisição com dispêndio de tempo e recursos para serem determinados. Os estudos são baseados em análises quantitativas de propriedades isoladas. Entretanto, é a interação destes aspectos quantitativos que determina a qualidade

do solo. As propriedades físicas do solo são importantes para o crescimento de plantas e são frequentemente relacionadas ao conteúdo de água, oxigênio, temperatura e resistência à penetração. Estes são fatores físicos do solo que influenciam diretamente o crescimento de plantas e a atividade biológica e determinam as taxas dos processos fisiológicos, ligados com o crescimento radicular, com a fotossíntese e com o crescimento foliar.

A interação entre os atributos físicos e biológicos do solo é de extrema importância para a manutenção da biota do solo e a melhoria das propriedades físicas do mesmo. Essa capacidade resulta de interações entre inúmeros processos químicos, físicos e biológicos de natureza complexa (TÓTOLA; CHAER, 2002) e sofre alterações com o manejo (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003). O emprego de práticas não sustentáveis pode causar a degradação de sua qualidade física, química e biológica, diminuindo a qualidade do solo (COSTA et al., 2003) o que, muitas vezes, pode ser de difícil reversão.

A perda da qualidade física afeta diretamente o espaço poroso do solo, de forma a prejudicar o fornecimento de água e de oxigênio, limitando o desenvolvimento das plantas (TORMENA; SILVA; LIBARDE, 1998) e a atividade de organismos edáficos (CORTÉS-TARRÁ et al., 2003). A deterioração da qualidade física do solo implica em condições desfavoráveis de estruturação do solo, com formação de agregados pouco estáveis, reduzida porosidade, elevada densidade (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004; ISLAM; WEIL, 2000; MARTINS, 2009), maior resistência à penetração de raízes (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004; MARTINS et al., 2002) e reduzida capacidade de retenção de água (TORMENA; SILVA; LIBARDE, 1998), resultando em condições que restringem o movimento da água e as trocas gasosas no perfil do solo, influenciando, dessa forma, diversos processos fundamentais para que o solo exerça suas funções diversas.

Por outro lado, a perda da diversidade de organismos no ecossistema resulta em uma menor estabilidade e resiliência do mesmo. Um ecossistema sem diversidade é praticamente impossível que seja um sistema sustentável. Por isso os organismos do solo assumem papel importante neste processo, visto que são responsáveis por diversas atividades essenciais para o funcionamento do ecossistema como fragmentação e decomposição da matéria orgânica, disponibilização de nutrientes, fixação biológica, agregação das partículas e criação de bioporos, entre outros processos de suma importância para a manutenção da vida no solo (MAFRA et al., 2007; VELASQUEZ, 2007).

A ação biológica dos diversos organismos edáficos auxilia na formação da estrutura do solo, as minhocas em especial, pois alimentam-se de solo e, após a passagem pelo seu trato intestinal, excretam substâncias em forma de muco, que atuam como um agente cimentante, modificando a estrutura do solo, auxiliando na agregação (BROWN; BAROIS; LAVELLE, 2000) e alterando a fertilidade do mesmo (ALMEIDA et al., 2007; DEMATTÊ; MAFRA; BERNARDES, 1998). A movimentação das minhocas no solo pode aumentar o volume total de poros, reduzindo a resistência do solo à penetração das raízes (GENRO JÚNIOR; REINERT; REICHERT, 2004). Os excrementos dos invertebrados são de fundamental importância na evolução da matéria orgânica (MARTIN; MARINISSEN, 1993), auxiliando na formação e na manutenção da estrutura do solo e, em longo prazo, podem influenciar nos processos pedológicos (CORREIA, 2002).

Atualmente, existem poucos estudos brasileiros envolvendo minhocas e sua influência na estrutura física do solo, principalmente quando se avaliam estes organismos em diferentes sistemas de uso da terra. Neste contexto, formularam-se as seguintes hipóteses: a) as propriedades físicas são influenciadas pelos diferentes sistemas de uso da terra (SUT); b) a Mos é influenciada pelos diferentes SUT na região do Alto Solimões, AM; c) as

*Oligochaetas* são influenciadas pelos sistemas de uso da terra (SUT) e modificam seu comportamento no tempo e d) os atributos físicos e a matéria orgânica do solo se correlacionam com a abundância e a biomassa de *Oligochaetas* e determinar as suas influências sobre os SUT

Assim, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: a) verificar se os atributos físicos e a matéria orgânica do solo são influenciados pelos sistemas de uso da terra e b) verificar se as *Oligochaetas* sofrem influência dos SUT e do tempo, e sua relação com os atributos físicos e a matéria orgânica do solo na região do Alto Solimões, Amazônia Ocidental.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Matéria orgânica do solo**

A matéria orgânica do solo pode ser constituída por uma gama de resíduos da flora e fauna formadas ou adicionados ao mesmo, parcial ou totalmente decompostos, pela intensa atividade dos organismos edáficos. Certamente, é a parte mais ativa do solo. Apesar de o seu peso reduzido representar de 0,5% a 3% do peso dos solos, exerce grande influência nas propriedades físico-químicas do solo e no crescimento vegetal (TRINDADE, 2007).

A atuação da matéria orgânica nas propriedades do solo é de suma importância, uma vez que atua como fonte de energia para a biomassa microbiana e pode servir de aporte de nutrientes para as plantas (MARIN, 2002). A capacidade de troca de cátions é bastante influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais (CANELLAS et al., 2000). A mineralização da matéria orgânica resulta na liberação de nutrientes essenciais à planta, tais como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes (MARIN, 2002). O autor ainda ressalta que de 15% a 80% do P total encontrado no solo pode ser proveniente da matéria orgânica.

Em relação às propriedades físicas, a matéria orgânica exerce grande contribuição. Neste aspecto, Marin (2002) salienta a redução da densidade do solo, da erosão e melhoria da infiltração de água. Araújo et al. (2004), estudando um Argissolo Amarelo na região da bacia do rio Purus, no estado do Acre, Amazônia, constataram maiores valores de densidade do solo para pastagem e menores valores em mata nativa na camada superficial (0-10 cm) e um comportamento inverso ao apresentado pela porosidade. Estes autores

detectaram que na área de mata o solo tinha maior porosidade, como um indicativo de ambiente pouco perturbado e mais protegido das intempéries (sol, chuva e vento).

A matéria orgânica funciona como um “granulador” das partículas minerais, sendo a principal responsável pelo aspecto frouxo e friável dos solos produtivos (BUCKMAN; BRADY, 1979), pois, segundo Campos et al. (1995), à medida que se adiciona matéria orgânica ao solo, a atividade microbiana é estimulada, resultando em produtos que atuam na formação e na estabilização dos agregados. Com a alteração da estrutura, a densidade do solo é diminuída, favorecendo a exploração de maior volume de solo pelas raízes das plantas (COSTA, 1983).

Sendo assim, Henklain e Medeiros (1995) citam que em qualquer tipo de manejo de solo nos trópicos, a matéria orgânica torna-se muito importante para redução do processo erosivo, maior disponibilidade de nutrientes às plantas, maior retenção de água, redução da temperatura do solo, estimulação da atividade biológica, aumento das taxas de infiltração, maior agregação, redistribuição dos nutrientes de maior mobilidade, como N e S e complexação de elementos tóxicos (Al, Mn).

Uma alternativa para manter e/ou melhorar os teores de matéria orgânica do solo é o cultivo orgânico com manutenção dos restos vegetais sobre a superfície do solo. Loss et al. (2009), estudando sistema de plantio convencional com milho/feijão, sistema de plantio direto com berinjela/milho e um sistema agroflorestal com maracujá e figo, concluíram que os sistemas de uso do solo com figo e berinjela/milho são mais eficientes em acumular carbono que os demais, pois apresentam maiores estoques de carbono orgânico total.

A principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação (GARCIA, 2010). O seu efeito sobre a agregação do solo afeta indiretamente as demais propriedades físicas do solo, como densidade,

porosidade, aeração, capacidade de retenção, infiltração de água, entre outras, que são fundamentais para a capacidade produtiva do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

De forma geral, os compostos orgânicos apresentam densidade inferior à dos constituintes minerais do solo, contribuindo para a diminuição da densidade do solo por meio do incremento de carbono orgânico no solo. Além do mais, a porosidade inter e intra-agregados é elevada, afetando positivamente a dinâmica de gases e da água no solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

## **2.2 Atributos físicos do solo**

### **2.2.1 Estabilidade de agregados**

A estabilidade dos agregados varia com as características inerentes ao solo e com os sistemas de manejo. O intenso revolvimento do solo provoca a quebra de agregados, podendo reduzir drasticamente sua estabilidade. Com o rompimento dos agregados, a matéria orgânica que estava em seu interior é desprotegida, acelerando seu processo de decomposição, diminuindo cada vez mais a resistência dos mesmos e deixando o solo mais susceptível à erosão e à degradação.

Os macroagregados formados a partir da união de microagregados têm como componentes orgânicos mais importantes as hifas de fungos e uma fração da matéria orgânica com pequeno grau de decomposição, denominada de matéria orgânica leve ou matéria orgânica particulada. Portanto, o efeito desses componentes acaba sendo de caráter mecânico. No caso das hifas de fungos, por exemplo, os micélios distribuídos por todo o solo contribuem para enlaçar e unir os microagregados (EASH; KARLEN; PARKIN, 1994).

Comparando solo sob cerrado áreas de pastoreio, MELO e SILVA (1995) observaram que o sistema de manejo adotado na pastagem promoveu alterações nas propriedades físicas e no conteúdo de matéria orgânica. A compactação provocada pelo pastejo dos restolhos e a redução da matéria orgânica influenciaram negativamente as propriedades do solo, aumentando a densidade do solo, diminuindo o tamanho dos agregados estáveis em água e a macroporosidade. Martins (2009), avaliando a sustentabilidade da estrutura do solo, em diferentes sistemas de uso da terra na região do Alto Solimões, Amazônia, encontrou o solo mais compactado na pastagem, confirmando estudos que maiores valores de diâmetro médio geométrico de agregados podem ser obtidos em resposta da compactação (MELO; SILVA, 1995). Segundo Horn et al. (1995), a compactação causa a deterioração da estrutura do solo, formando agregados grandes, mais densos e com poucos poros.

Um adequado estado de agregação promoverá boas condições de aeração do solo, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água e bom desenvolvimento radicular, sendo de grande importância para a produtividade das culturas.

### **2.2.2 Densidade do solo**

A densidade do solo pode variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores da matéria orgânica e da frequência de cultivo (LIPIEC; HATANO, 2003). Geralmente, a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o adensamento, reduzindo a porosidade, o que dificultará a infiltração de água no solo e poderá dificultar a penetração das raízes e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas, seja por falta ou excesso de água e/ou por deficiência na nutrição (CASTRO, 1995; MARTINS et

al., 2002). Brady (1989) também considera a elevação da densidade do solo com o aprofundamento do perfil como consequência de um menor conteúdo de matéria orgânica, enquanto Kiehl (1979) complementa que o aumento de material fino dos horizontes superiores para os inferiores constitui outro fator para o aumento da densidade, devido à redução dos espaços porosos.

Não existe consenso sobre o nível crítico da densidade do solo, ou seja, o valor acima do qual o solo é considerado compactado. A densidade do solo varia de acordo com as características do solo e, em solos argilosos, varia de 1,0 a 1,45 Mg m<sup>-3</sup>, para condições de mata e locais muito compactados, respectivamente, e para solos arenosos entre 1,25 a 1,70 Mg m<sup>-3</sup> (KLEIN et al., 2004; TORRES; SARAIVA, 1999).

Essa variação na densidade do solo é decorrência da microagregação das partículas de argila, que acarretam uma porosidade intra-agregados, o que reduz a densidade, sendo esses microagregados extremamente estáveis (KLEIN, 2005). Outro fator que pode contribuir para esse comportamento da densidade do solo é o teor reduzido de matéria orgânica nos solos arenosos (BUCKMAN; BRADY, 1979; KLAR, 1988), ou também a mineralogia do solo, podendo influenciar por meio do elevado teor de silte de alguns solos, como, por exemplo, o amazônico na região deste estudo, que podem favorecer o adensamento do solo e resultar em uma maior densidade do solo (BERTOL et al., 2004).

Em um estudo com diferentes usos e manejos de solos na região de Manaus, AM, Souza, Leite e Beutler (2004) observaram que a densidade de partículas e a densidade do solo foram menores na capoeira e na floresta quando comparadas com as da pastagem. Segundo os autores, isso ocorreu devido aos maiores conteúdos de matéria orgânica, cujo baixo peso específico contribuiu para diminuir a densidade de partículas. Segundo Peterson (1970), a maior densidade do solo nas pastagens ocorre devido ao pisoteio de animais (bovinos)

que apresentam peso corpóreo muito grande em relação à área da pata e, ao caminharem, colocam sobre o solo elevadas pressões, compactando-o até 10 a 15 cm de profundidade.

Em experimento realizado no município de Castanhal, PA, Cardoso Júnior (2001) verificou que, na camada superficial (até 19 cm), os solos sob capoeira de vinte anos apresentaram menor densidade do solo ( $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e maior porosidade total ( $0,47 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), quando comparados a sistemas de manejo com pastagem degradada, que apresentou  $1,54 \text{ Mg m}^{-3}$  para a densidade do solo e  $0,41 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para a porosidade e em pastagem recuperada (com adubação), com valores na faixa de  $1,40$  a  $1,58 \text{ Mg dm}^{-3}$ , para a densidade e de  $0,37$  a  $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , para a porosidade. O mesmo autor concluiu que a recuperação das pastagens pode melhorar a qualidade física do solo.

Estudando duas cronosequências na região amazônica de Rondônia, foi encontrada uma variação da densidade do solo, em função do tipo de cobertura (MORAES; VOLKOFF; CERRI, 1996). A densidade do solo da floresta na camada superficial de 0 a 5 cm variou de  $1,24$  a  $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ , na cronosequência coberta pela mata e de  $1,30$  a  $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$ , na cronosequência coberta com pastagem. Os autores atribuem esse aumento na densidade ao uso intensivo do solo com pastagem e possível pisoteamento dos animais (MORAES; VOLKOFF; CERRI, 1996).

Em um estudo na região do Alto Solimões, AM, Martins (2009), com diferentes sistemas de uso da terra, observou que, na profundidade 0 a 3 cm, o sistema de uso que mais degradou a estrutura do Cambissolo foi a pastagem e, na profundidade 10 a 13 cm, a degradação da estrutura decresceu na seguinte ordem: roça > capoeira velha e floresta > agrofloresta > capoeira nova e pastagem, novamente mostrando que a pastagem foi o sistema de uso da terra que mais degradou a estrutura do solo. Assim, observa-se que a densidade do solo está ligada diretamente com a estrutura do solo e com o tipo de uso do mesmo.

### 2.2.3 Porosidade do solo

A porosidade do solo é a fração volumétrica do solo ocupada por ar e água, representando o local onde circula a solução e o ar, sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução de solo (HILLEL, 1970). Segundo Reichardt e Timm (2004), a porosidade do solo é diretamente dependente da densidade do solo. Ela também é afetada pelo nível de compactação e adensamento do solo, pois quanto maior a densidade do solo, menor será o volume do espaço poroso. Rigatto, Dedeczek e Mattos (2005) observaram que a textura também pode influenciar na porosidade e que, de maneira geral, os sítios com textura mais arenosa tiveram maior número de macroporos e, conseqüentemente, maiores valores de macroporosidade.

Estudando diferentes usos do solo na região de Manaus, AM, SOUZA; LEITE; BEUTLER (2004) encontraram valores de porosidade total menores nas profundidades de 20 a 40 cm, quando comparado com os de 0 a 20 cm, concordando com os resultados do estudo de Araújo et al. (2004). Nos mesmos estudos, Souza, Leite e Beutler (2004) encontraram maior valor de porosidade total na floresta e na capoeira, quando comparadas com os cultivos de milho, laranja e pupunha. Também encontraram valores de macroporosidade superiores nos sistemas de floresta e capoeira em relação à pastagem, o que deve estar relacionado à maior estabilidade de agregados em água. Nesta mesma pastagem, foram encontrados valores de macroporosidade inferiores a  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  que, segundo Erickson (1984), é o valor de porosidade de aeração mínima para o crescimento radicular da maioria das culturas.

De acordo com Kiehl (1979), um solo ideal é aquele com valores entre  $0,10$  a  $0,16 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para macroporosidade, de até  $0,33 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para microporosidade e acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  para porosidade total do solo. Valores fora destes padrões podem indicar possíveis problemas de infiltração de água,

circulação de oxigênio com, conseqüentemente, restrição ao desenvolvimento das raízes das culturas nestas profundidades, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (BERTOL et al., 2004).

#### **2.2.4 Resistência à penetração**

Entre os processos abióticos mais importantes que ocorrem no solo, destacam-se a sua densidade e a sua resistência à penetração, que podem ocorrer naturalmente, resultante do impacto das chuvas, ou pela ação de animais silvestres que transitam nestes locais. Outras fontes de resistência devem-se ao movimento de grandes árvores, resultante da ação do vento, de seu peso ou da pressão exercida pelo crescimento das raízes. As raízes das árvores podem durar por muitas décadas e crescer com efeitos maiores que aqueles verificados na agricultura (SEIXAS, 2000).

A resistência do solo à penetração pode alterar o fluxo de água no solo, reduzir a produtividade do sítio florestal, além de aumentar os níveis de erosão, já que normalmente diminui a taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial, pois a dispersão da água depende do tamanho dos poros (SEIXAS, 2000; SEIXAS; OLIVEIRA; SOUZA, 1998). Outros fatores que podem influenciar o nível de resistência à penetração envolvem a quantidade e a distribuição da matéria orgânica, textura e estrutura do solo, porcentagem de umidade do solo, topografia e clima. A presença de uma camada de matéria orgânica (serapilheira) sobre o solo minimiza o impacto da chuva e a lixiviação do solo, protegendo a sua superfície mineral e a fração propriamente dita do solo, argila, silte e areia (SIROIS; STOKES; ASHMORE, 1985), levando, assim, a uma menor resistência à penetração das raízes.

O manejo dos ecossistemas altera as propriedades físicas e mecânicas no solo, com diferentes níveis de resistência à penetração em função da umidade (KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999). Os solos demasiadamente resistentes à penetração impedem a infiltração, tornando-se deficientes em água, além de estarem sujeitos ao aquecimento pronunciado. Por outro lado, solos com baixos teores de água apresentam maior resistência à penetração, enquanto o aumento da umidade do solo resulta na diminuição da densidade do solo, causando destruição da estrutura do solo, porém, onde a água não se infiltra, ocorrem o escoamento superficial e a perda de nutrientes essenciais as plantas. Assim, a resistência à penetração e a umidade do solo, bem como os sistemas de plantios, devem sempre ser avaliados em conjunto, para o manejo adequado das condições físicas do solo e melhoria da produtividade das florestas, sejam naturais ou cultivadas (SEIXAS, 2000).

A taxa de alongação radicular é consideravelmente afetada pelo acréscimo na resistência à penetração. Entretanto, não afeta significativamente o dispêndio de energia requerido pela planta para o crescimento radicular (DEXTER, 1988). O crescimento das raízes pode causar a deformação do solo numa zona próxima à ponta das raízes e a pressão exercida contra as partículas e/ou agregados deve ser suficiente para propiciar a penetração e o alongamento das raízes (BENNIE, 1996).

Em um estudo na região Amazônica de Rondônia, Neves Júnior (2005) encontrou valores de resistência à penetração entre a faixa de 0,11 a 0,54 MPa e concluiu concordando com outros autores (SILVA; ROSOLEM, 2002; TARDIEU, 1994) que estes valores, por serem menores que 2,0 MPa, não são considerados como limitante para o crescimento de plantas.

A resistência à penetração é considerada um atributo importante para avaliar a compactação do solo. Araújo et al. (2004), em um estudo na Amazônia Ocidental sobre um Argissolo Amarelo distrófico, encontraram altos valores de

resistência à penetração em pastagem, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em relação à mata e à mata queimada, respectivamente. A maior resistência do solo na camada de 20 a 40 cm na pastagem demonstra que essa maior resistência do solo não é proveniente apenas do pisoteio, mas também devido ao ajuste de partículas (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999), com consequente entupimento dos poros pelas partículas mais finas, e ao dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (OLIVEIRA et al., 1996).

### **2.3 Fauna invertebrada edáfica**

A fauna invertebrada do solo é conceituada como todos os organismos invertebrados quem moram no solo durante pelo menos um estado do seu ciclo biológico, sejam eles moradores de tempo completo (geobiontes) ou parcial (geófilos) (JACOT, 1940). A fauna atua nos processos do solo variando conforme o seu tipo e tamanho, sendo classificada conforme o seu diâmetro corporal em: microfauna (<0,2mm), mesofauna (0,2 a 10mm) e macrofauna (>10mm) (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979). Também pode ser classificada, conforme o seu tamanho e a sua mobilidade em microfauna, ligeiramente mais móvel e de tamanho menor que 0,2mm; mesofauna, movimenta-se em fissuras, poros e na interface serapilheira/solo, possuindo de 0,2 a 4mm e macrofauna, constrói ninhos, cavidades e galerias, transporta material, é maior que 4 mm (LAVELLE et al., 1994). A microfauna é composta por protozoários, nematoides, rotíferos e outros; a mesofauna é composta, basicamente, colêmbolos (*Collembola*), ácaros (*Acari*) e enquítreidos (*Oligochaeta*) e a macrofauna é composta por minhocas (*Oligochaeta*), que é o foco deste estudo, cupins (*Isoptera*), tatuzinhos (*Isopoda*), formigas (*Hymenoptera*), besouros (*Coleoptera*), aranhas (*Arachnida*), piolho-de-cobra (*Myriapoda*) e outros.

As minhocas podem ser classificadas, conforme o seu modo de vida, em espécies endógenas, epígeas e anécicas (BOUCHÉ, 1977). **Endógenas:** são as mais conhecidas, vivem no solo e escavam galerias horizontais, comem e escretam solo. Se alimentam de produtos liberados pelas raízes e matéria orgânica, levando-as para o sub solo pelas chuvas ou por outros vermes e insetos. Possuem um ritmo mais estável, reprodutivamente e pode ser considerado baixo; seu corpo não desenvolve pigmentos de protecção. **Epígeas:** são minhocas que vivem na superfície do solo, alimentando-se de matéria orgânica e produzindo húmus. São sujeitas a perigos, pois estão expostas a predação, inundações, fogo, frio e falta de alimentos. Esses perigos fizeram eles desenvolver uma série de adaptações para sobreviver, como alta reprodução para compensar a perda de população, bom apetite, para tornar as fontes alimentares mais casual (folhas, estrume) e produção de casúlos resistentes para proteger os ovos nos periodos de seca. **Anécicas:** vivem no solo, cavam galerias verticais, podendo ir à superfície durante a noite para se alimentar de matéria orgânica, sendo o grupo mais conhecido e estudado. Cavam galerias em "U", onde passam a maior parte do tempo. Importantes por arrastar partículas do solo para o fundo, podendo, assim, auxiliar na mistura do solo.

### **2.3.1 Influência da fauna invertebrada edáfica na estrutura do solo**

Com a intensificação do uso da terra nas últimas quatro décadas, a deterioração da qualidade química, física e biologia do solo tem emergido como um problema importante. Portanto, há a necessidade da utilização de práticas agrícolas sustentáveis, com sistemas de exploração natural dos mecanismos bióticos, os quais ajudam manter a estrutura do solo, a fertilidade e a infiltração (PFIFFNER; LUKA, 2007).

A estrutura do solo consiste na disposição geométrica das partículas primárias e secundárias. As primárias são isoladas e as secundárias são um conjunto de primárias dentro de um agregado, que é mantido por agentes cimentantes (DIAS JÚNIOR; BERTONI; BASTOS, 2000). Ela está relacionada com a disponibilidade de água e ar para raízes das plantas, com o suprimento de nutrientes, a resistência mecânica do solo à penetração e com o desenvolvimento do sistema radicular (PERUSI; CARVALHO, 2007).

A ação biológica dos diversos organismos edáficos auxilia a formação da estrutura do solo. Ecossistema do solo, organismos (predominantemente cupins, minhocas e formigas) e raízes produzem as estruturas biogênicas, agregados ou bioporos, que determinam a estrutura e a arquitetura de solo (LAVELLE, 2002). Os macrorganismos, por exemplo, os artrópodes não-sociais e pequenas *Oligochaetas (Enchytraeidae)* são transformadores da serapilheira e produzem as estruturas biogênicas orgânicas na forma de pelotas fecais. Mas, por outro lado, os mesmos podem ser afetados pela mobilização (tipo e intensidade) e a compactação do solo, as quais têm grande impacto na estrutura do solo e, posteriormente, afeta as comunidades de minhocas (CAPOWIEZ et al., 2009).

A macrofauna atua na ciclagem de nutrientes por fragmentação e ingestão de material presente na serapilheira e solo, podendo o excesso de material orgânico prejudicar alguns organismos edáficos (ALVES et al., 2008). Estes organismos interagem com outros microrganismos, os quais decompõem e mineralizam os detritos do solo (HÖFER et al., 2001), afetando a estrutura do solo e alterando as suas propriedades. As relações entre dinâmica da matéria orgânica e propriedades físicas do solo podem, em parte, ser explicadas considerando o equilíbrio das estruturas biogênicas individuais e os arranjos no espaço e tempo (LAVELLE, 2002). Alguns grupos, como os térmitas, podem ingerir até  $0,9 \text{ t ha}^{-1}$  de serapilheira e solo; já algumas espécies de minhocas

presentes em pastagens temperadas da França podem ingerir de 40 a 70 t ha<sup>-1</sup>, enquanto, em outro ambiente, como em florestas úmidas da Costa do Marfim, podem ingerir de 800 a 1.200 t ha<sup>-1</sup> (MARTIN; MARINISSEN, 1993). Esse grande volume de solo ingerido após passar pelo trato intestinal é basicamente transformado e seus excrementos são muito diferentes do material original. Essas modificações são observadas no solo pela alteração do mesmo, a fragmentação das partículas orgânicas (MARTIN, 1991), a alteração na atividade da comunidade microbiana (PERLE, 1963 citado por MARTIN; MARINISSEN, 1993), a digestão microbiana enzimática, liberando nutrientes ao solo (LAVELLE; MARTIN, 1992) e as alterações na estrutura do solo, como agregação, movimentação de água e ar (BAROIS et al., 1993; BLANCHART; BRUAND; LAVELLE, 1993).

A agregação do solo pode ser considerada um dos mais importantes atributos edáficos e auxilia na determinação de vários atributos, como estrutura, infiltração, retenção de água e armazenamento de carbono (LAVELLE et al., 2006; VELASQUEZ et al., 2007). Os engenheiros do solo têm forte influência na formação da estrutura do solo e são considerados determinantes na ciclagem de nutrientes, formação de agregados e permeabilidade do solo. Os excrementos e suas estruturas biogênicas associadas (galerias, restos de vegetais, e fungos) têm impacto significativo nas características físicas e químicas do solo, como na morfologia, na translocação de solo e na formação de horizontes de subsuperfície (WOOD, 1988), aeração, porosidade e estabilidade estrutural (GARNIER-SILLAM, 1990; GARNIER-SILLAM; BRAUDEAU; TESSIER, 1991) e propriedades químicas, como enriquecimento em cátions, P, e N (LOBRY-BRUYN; CONACHER, 1990). Por conseguinte, o conteúdo da matéria orgânica e o da estrutura do solo diferem nas construções das estruturas biogênicas (WOOD, 1988). Blanchart et al. (1999) mostraram que o equilíbrio

entre solo compactado e descompactado por espécies pode ter efeitos na densidade de partículas e na infiltração de água do solo.

### **2.3.2 As minhocas e suas estruturas biogênicas, influenciando os atributos físicos do solo**

As alterações na estrutura do solo podem variar conforme o tipo de organismos que há nele, pois os excrementos variam conforme o hábitat, a dieta e o tamanho (MARTIN; MARINISSEN, 1993). Alguns excrementos são relativamente estáveis devido à presença de uma membrana que os envolve (BAL, 1970), ou uma camada exterior compacta (BLANCHART; BRUAND; LAVELLE, 1993). A avaliação da estabilidade estrutural dos excrementos é importante para poder diagnosticar o potencial da atividade da fauna edáfica na formação da estrutura, na agregação e no teor de matéria orgânica, que podem servir de substrato para microrganismos. Observações diretas na estrutura de coprólitos (BLANCHART; LAVELLE; SPAIN, 1990; MARINISSEN; DEXTER, 1990), força de agregação (MCKENZIE; DEXTER, 1987), riqueza de nutrientes no solo e atividade biológica (SCHEU, 1987) podem ter relação direta com a ação da macrofauna invertebrada do solo, variando seu efeito com a comunidade da mesma e/ou a micro e a macroestrutura do solo (LAVELLE et al., 1989).

Um estudo foi realizado com coprólitos de minhocas da espécie *Pontoscolex corethrurus* com *scanning electron microscopy* (SEM) e *transmission electron microscopy* (TEM), em solos com minhoca (*P. corethrurus*) e sem (controle). Foi observado que no solo com *P. corethrurus*, apresentou superfície mais rugosa em comparação ao solo sem minhocas. Observou-se, com TEM, que o controle apresentava mais material orgânico, porém, não apresentou compactação e partículas maiores com presença de

argila, resíduos vegetais e microrganismos. Já o solo com a *P. corethrurus* apresentou maior atividade bacteriana, refletindo em uma maior agregação das argilas (BAROIS et al., 1993). Isso demonstra que a ação da *P. corethrurus* auxilia na agregação e na estruturação do solo indiretamente, pela maior ação das bactérias sobre os coprólitos neste local.

Estudando coprólitos de minhoca da espécie *Martiodrilus carimaguensis*, DECAËNS (2000) verificou que a idade média dos coprólitos era de, aproximadamente, cinco meses na savana nativa, dois meses no pasto pisoteado e onze meses no pasto protegido. Com o envelhecimento, os coprólitos sofreram modificações das propriedades físicas, tendo sua densidade permanecido constante durante a primeira semana, diminuindo progressivamente até o fim do período de observação. A densidade dos coprólitos na savana era aproximadamente 10% mais alta que os coprólitos produzidos no pasto. A biomassa da raiz aumentou rápida e significativamente nos coprólitos produzidos no pasto, enquanto permaneceu muito baixa nos produzidos na savana. Em ambos os sistemas, revelou-se correlação linear negativa significativa entre a densidade de tamanho de coprólitos e a biomassa de macroinvertebrados. Isso pode dar uma ideia de que os atributos físicos dos coprólitos podem ter diferentes características com o passar do tempo e com o tipo de cobertura do solo, variando com a comunidade das minhocas.

Em um estudo em microcosmos de laboratório, comparando efeitos de diferentes fontes de alimento nas propriedades físicas e químicas de agregados produzidos por *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus rubellus* e *Dendrobaena octaedra* em um solo argiloso com restos vegetais de dente-de-leão (*Taraxacum officinale*), tremoço (*Lupinus polyphyllus*), centeio (*Secale cereale*), amieiros (*Alnus glutinosa*), faia (*Fagus sylvatica*) e lariço-europeu (*Larix decidua*), as dietas diferiram na relação C/N (FLEGEL; SCHRADER; ZHANG, 1998). Os autores constataram que textura, agregados estável em água e resistência à tração

do solo produzido pelas minhocas sofreram influência, quando comparados com o solo natural. Os agregados e a resistência a tração dos solos foram influenciados pela fonte de alimento e pelas espécies de minhoca, tendo *D. octaedra* produzido os maiores valores e quantidades de agregados estáveis em água e *L. Terrestris*, a menor quantidade de agregados estáveis. Por outro lado, *L. terrestris* apresentou os maiores valores de resistência à tração quando comparado com *D. octaedra*. Os autores também constataram que os agregados produzidos por *L. terrestris* eram de 90% a 290% mais estáveis quando comparados com os agregados do solo.

A presença de agregados biogênicos de diferentes tamanhos, assim como de invertebrados e raízes, mostra alta atividade biológica, o que pode ser indicador de provável qualidade dos processos do solo e ótima regulação biológica no funcionamento do solo (BLANCHART et al., 1999; PONGE, 1999; TOPOLIANTZ; PONGE; VIAUX, 2000; VELÁSQUEZ, 2007). As atividades de minhocas influenciam o tamanho e a distribuição de partícula além de matéria orgânica, agregação de solo, resistência à tração, aspereza de solo e infiltração de água (BAROIS et al., 1993; BLANCHART; LAVELLE; SPAIN, 1990; DECAËNS, 2000; MCKENZIE; DEXTER, 1987).

### **2.3.3 Sistemas de uso do solo e a influência sobre minhocas (*Oligochaeta*) refletindo nos atributos físicos do solo**

O tipo de uso e de cobertura do solo pode influenciar na comunidade edáfica e ter reflexo na estrutura do solo. Velásquez (2007), estudando macrofauna em florestas e pastagens no Pará, observou que, na presença da leguminosa *Arachis pintoi*, houve maior associação com as minhocas (*Oligochaetas*) e, consecutivamente, maior formação de estruturas biogênicas formadas por estes organismos, quando comparadas com solos cobertos por

gramíneas. A presença da gramínea *Brachiaria bryzantha* favoreceu a presença de térmitas (cupins), assim como uma formação de agregados produzidos pelas raízes desta planta. Já na presença de *Leucaena leucocephala* e *Solanum Nigris*, foi encontrada maior presença de agregados de origem física, em decorrência da baixa abundância da macrofauna nesta área. Estes resultados podem indicar uma relação entre a comunidade da fauna, o tipo de cobertura e a estrutura do solo.

Buck, Langmaack e Schrader (2000), estudando diferentes coberturas e aplicações de esforço sobre o solo nas propriedades físicas dos coprólitos de minhocas das espécies *L. terrestris* e *Octolasion cyaneum*, observaram que, em geral, os microcosmos que continham restos de vegetais eram menos compactados que os sem restos vegetais, o que influenciou os processos dinâmicos do solo e afetou a atividade microbiana e a agregação. Valores mais altos de atividade de fosfatase foram medidos no solo compactado, enquanto as atividades de enzima encontradas nos coprólitos eram menos afetadas pela compactação. A espécie de minhoca e a qualidade nutricional da fonte de comida foram fatores que influenciaram a agregação. A cobertura morta e a compactação do solo tiveram consequências para a atividade das escavações das minhocas, que resultaram em diferentes taxas de produção de coprólitos entre espécies. *L. terrestris* variou de 280 a 431 mg DMg<sup>-1</sup> PV por dia, enquanto *O. cyaneum* foi de 2 a 3,5 vezes mais, variando de 852 a 1.305 mg DMg<sup>-1</sup> PV por dia, em todos os tipos de cobertura exceto para a cevada. *L. terrestris* produziu mais em solo compactado do que em solo com densidade baixa, mas não significativamente diferente de *O. cyaneum*.

Em vários estudos coordenados por Lavelle no projeto EEC "Macrofauna" em solos caoliniticos, nas regiões de (i) Lamto (Costa do Marfim), em Ultisols (4,5% de argila), (ii) Yurimaguas (Peru), em ultisols (20% de argila), (iii) Manaus (Amazônia Central, Brasil), Latossolos Amarelos (80% de argila), há comentários de que, independente de conteúdo de argila, as minhocas

endogeicas influenciam a agregação, a estabilidade dos agregados, a porosidade total e a distribuição de poros por tamanho (BLANCHART, 1998). No Lamto, estudos de campo mostraram que as minhocas de grande porte (como *M. anomala*, que pesa 5 g na fase adulta) foram as responsáveis pela formação de uma estrutura de macroagregados nestes solos arenosos.

A presença de uma única minhoca desta espécie de pequeno porte induziu um aumento da porosidade total e um aumento de 0,5 a 2 mm de diâmetro dos agregados. Essa modificação estrutural levou a uma diminuição da capacidade de retenção de água (BLANCHART et al., 1997). Este fenômeno também foi observado na Amazônia Central, onde a presença única de *P. corethrurus* (com cerca de 1 g na fase adulta) em uma pastagem levou a uma forte diminuição da infiltração, devido à formação de um horizonte impermeável, nos primeiros 10 cm do solo (CHAUVEL et al., 1999). No Peru, experimentos e observações também chegaram às mesmas conclusões: a presença de minhocas de grande porte (*P. corethrurus*) levou a um aumento da proporção de agregados >2 mm e a uma diminuição da porosidade total. A ausência dessas minhocas induziu um aumento da proporção de agregados <0,5 mm e um aumento da porosidade total (PASHANASI et al., 1996).

Os estudos citados anteriormente em solos caulíníticos levam às mesmas conclusões, independentemente do teor de argila:

- a) minhocas endogeicas geófagas desempenham papel importante na formação e na conservação da estrutura do solo;
- b) as minhocas de grande porte, por meio de suas atividades, podem levar a um aumento da proporção de agregados maiores (2-5 mm), em relação aos agregados menores; também podem aumentar a macroporosidade (1 mm) e a microporosidade (0,10 mm), e provocar diminuição de mesoporosidade (100 mm) e de porosidade total, vinculada à compactação dos coprólitos, gerando, conseqüentemente,

aumento da capacidade de retenção de água, elevada estabilidade e resistência mecânica de agregado. Outros fatores são aumento da rugosidade superficial e formação de um horizonte impermeável, na ausência de resíduos orgânicos (especialmente adubos verdes) (BLANCHART, 1998);

- c) as minhocas de pequeno porte, por meio de suas atividades, levam a um aumento de agregados médios (0,5 a 2 mm) em relação aos agregados maiores, a uma diminuição da micro e da macroporosidade, a um aumento de mesoporosidade, a um aumento da porosidade total, à diminuição da capacidade de retenção de água e a uma menor estabilidade dos coprólitos em "compactar" o solo (BLANCHART, 1998).

Em solos esmectíticos (exemplo Vertissolos), minhocas têm efeito menor na erodibilidade do solo, na formação da matéria orgânica e na troca de cátions (BLANCHART, 1998). Na Martinica (Antilhas), Vertissolos sob florestas e pastagens são caracterizados por alta atividade de minhocas (*P. elongata*), raízes, microrganismos, altos teores de carbono orgânico, alta estabilidade de agregados em água (ligada ao teor de C), erodibilidade moderada, alta aeração e alta disponibilidade de água (ALBRECHT et al., 1992). Por outro lado, Vertissolos com culturas hortícolas são caracterizados por baixa atividade biológica, baixos teores de C orgânico, baixa estabilidade de agregados, erodibilidade alta, baixa aeração e baixa disponibilidade de água. Neste estudo, as minhocas demonstraram não ter papel importante na formação e na conservação da estrutura dos solos, pois o comportamento de inchamento-encolhimento dos solos esconde o efeito estruturante destes animais, cujos moldes são rapidamente misturados com solo. Ao contrário de outros estudos em solos com esmectita, as minhocas parecem desempenhar papel importante na

formação da estrutura do solo e da reabilitação de solos quando degradados. Eles atuam por meio do aumento no conteúdo de C orgânico do solo, absorção de água e estímulo de bactérias que poderiam desempenhar papel importante na agregação das argilas (BLANCHART, 1998).

Dessa maneira, pode-se concluir que a conservação e a reabilitação das propriedades físicas dos solos cauliniticos podem ser baseadas na utilização de minhocas endogeicas, com espécies adaptadas ao tipo de solo, ao clima e a práticas agrícolas. Sua utilização deve estar associada a resíduos orgânicos (principalmente adubos verdes) e ou a espécies de tamanho pequeno. No entanto, em solos esmectíticos uma intensa atividade das minhocas não é fundamental para a regulação das propriedades físicas do solo, ao contrário de uma elevação na matéria orgânica (BLANCHART, 1998).

Algumas espécies de minhocas se adaptam muito bem a agroecossistemas (pastagens) e podem ser consideradas como um agente biológico que atua na fertilidade e na estrutura do solo (JIMÉNEZ et al., 1998), por meio de um equilíbrio entre produção e destruição de coprólitos de tamanho grande, por espécies de tamanhos diferentes, resultando em uma regulação ativa da estrutura do solo. Em alguns casos, há formação de uma camada compacta e impermeável na superfície do solo, prejudicando o crescimento de plantas (ALEGRE; PASHANASI; LAVELLE, 1996; BLANCHART et al., 1999; CHAUVEL et al., 1999). Por conseguinte, essas espécies podem transformar entre 2% e 11% dos 10 cm da camada de solo superficial em macroagregados (DECAËNS, 2000). Estas estimativas confirmam algumas conclusões de estudos prévios que mostraram que algumas minhocas atuam na formação da macroestrutura do solo coberto por pastagens (GIJSMAN, 1996; GIJSMAN; THOMAS, 1995).

A conservação de uma fauna funcionalmente diversa no solo permite uma regulação eficiente das estruturas biogênicas, produzidas por espécies

maiores que são trituradas por espécies pequenas (DECAËNS, 2000). Finalmente, essa combinação de efeitos contrastantes pode conduzir a uma regulação biogênica da estrutura do solo e de suas propriedades físicas associadas. A produção de grandes quantidades de excrementos produz efeitos significativos na estrutura, nas propriedades físicas e na dinâmica da matéria orgânica.

## REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, A. et al. Les stocks organiques des principaux sols cultivés de la Martinique (Petites Antilles). **Cahier ORSTOM, Série Pédologie**, Paris, v. 27, n. 1, p. 23-36, 1992.
- ALEGRE, J. C.; PASHANASI, B. E.; LAVELLE, P. Dinâmica de propriedades físicas do solo em um sistema agrícola de entrada baixa inoculados com a minhoca *Pontoscolex corethrurus* na região amazônica do Peru. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p. 1522-1529, Dec. 1996.
- ALMEIDA, H. C. et al. Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1462-1465, set./out. 2007.
- ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 589-598, maio/jun. 2008.
- ARAÚJO, E. A. et al. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 307-315, mar./abr. 2004.
- BAL, L. Morphological investigation in two moder-humus profiles and the role of soil fauna in their genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 4, p. 5-36, 1970.
- BAROIS, I. et al. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (*Oligochaeta*) intestinal tract. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 57-66, Mar. 1993.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots**. New York: M. Dekker, 1996. p. 453-470.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 155-163, mar./abr. 2004.

BLANCHART, E. Earthworms and soil structure and physical properties in kaolinitic and smectitic tropical soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier: WSC, 1998. 1 CD-ROM.

BLANCHART, E.; BRUAND, A.; LAVELLE, P. The physical structure of casts of *Millsonia anomala* (*Oligochaeta: Megascolecidae*) in shrub savanna soils (Côte d'Ivoire). **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 119-132, Mar. 1993.

BLANCHART, E. et al. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In: LAVELLE, P.; BRUSSARD, L.; HENDRIX, P. (Ed.). **Earthworm management in tropical soils**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 139-162.

\_\_\_\_\_. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 29, n. 3/4, p. 431-439, Aug. 1997.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; SPAIN, A. Effects of the biomass and size of *Millsonia anomala* (*Oligochaeta: Acanthodrilidae*) on particle aggregation in a tropical soil in the presence of *Panicum maximum* (Graminae). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 10, n. 1, p. 113-120, Feb. 1990.

BOUCHÉ, M. B. Stratégies lombriciennes. **Ecology Bulletin**, Chicago, v. 25, n. 25, p. 671-675, 1977.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. São Paulo: F. Bastos, 1989. 878 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil: Juruá, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1977. 436 p. (Levantamento de Recursos Minerais, 15).

BROWN, G. G.; BAROIS, I.; LAVELLE, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. **European Journal Soil Biology**, Oxford, v. 36, n. 2, p. 177-198, Apr. 2000.

BUCK, C.; LANGMAACK, M.; SCHRADER, S. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 14, n. 2, p. 223-229, Feb. 2000.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1979. 647 p.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 121-126, jan./fev. 1995.

CANELLAS, L. P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 133-143, jan. 2000.

CAPOWIEZ, Y. et al. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 209-216, Feb. 2009.

CARDOSO JÚNIOR, E. Q. **Alterações físicas e químicas de solos sob efeito de manejos para recuperação de pastagem (*Brachiaria humidicola*, Rendle), no município de castanhal, Pará**. 2001. 105 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 2001.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1153-1155, out. 2004.

CASTRO, O. M. de. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: SEMINÁRIO DE CULTIVO MÍNIMO, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IPEF, 1995. p. 34-42.

CHAUVEL, C. et al. Pasture damage by an Amazonian earthworm. **Nature**, London, v. 398, n. 6675, p. 32-33, Mar. 1999.

CORRÊIA, M. E. F. **Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas**. Seropédica: EMBRAPA Agrobiologia, 2002. 33 p. (EMBRAPA Agrobiologia. Documentos, 156).

CORTÉS-TARRÁ, I. L. et al. Relações entre os grupos funcionais da macrofauna e o volume dos macro-poros do solo em sistemas agrossilviculturais da Amazônia Central. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6., 2003, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFCE, 2003. p. 643-645.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/jun. 2003.

COSTA, M. P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**. 1983. 137 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, 1983.

DECAËNS, T. Degradation dynamics of surface earthworm casts in grasslands of the eastern plains of Colombia. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 32, n. 2, p. 149-156, Mar. 2000.

DEMATTE, J. A. M.; MAFRA, A. L.; BERNARDES, F. F. Comportamento espectral de materiais de solos e de estruturas biogênicas associadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 4, p. 621-630, jul./ago. 1998.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 199-238, May 1988.

DIAS JÚNIOR, M. de S.; BERTONI, J. C.; BASTOS, A. R. R. **Física do solo**. Lavras: UFLA, 2000. 149 p.

EASH, N. S.; KARLEN, D. L.; PARKIN, T. B. Fungal contributions to soil aggregation and soil quality. In: DORAN, J. W. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 221-228.

ERICKSON, A. E. Tillage effects on soil aeration. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 11., 1984, Madison. **Proceedings...** Madison: ASA, 1984. p. 91-104. (Special Publication, 44).

FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P. Compactação de um Latossolo-vermelho causada pelo tráfego do "forwarder". **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 279-284, maio/jun. 2003.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 515-524, jul./set. 1999.

FLEGEL, M.; SCHRADER, S.; ZHANG, H. Influence of food quality on the physical and chemical properties of detritivorous earthworm casts. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, n. 3, p. 263-269, Mar. 1998.

GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo**. 2010. 101 p. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

GARNIER-SILLAM, E. Comparative physico-chemical properties of soil-feeding *Thoracotermes macrothorax* and fungus-growing *Macrotermes mülleri* termite mounds. **Environment Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 7-13, 1990.

GARNIER-SILLAM, E.; BRAUDEAU, E.; TESSIER, D. Rôle des termites sur le spectre poral des sols forestiers tropicaux. Cães de *Thoracotermes macrothorax* Sjöstedt (Termitinae) et de *Macrotermes mülleri* (Sjöstedt) (Macrotermitinae). **Insectes Sociaux**, Heidelberg, v. 38, n. 3, p. 397-412, 1991.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 477-484, jul./ago. 2004.

GIJSMAN, A. J. Soil aggregate stability and soil organic matter fractions under agropastoral systems established in native savanna. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 34, n. 7, p. 891-907, July 1996.

GIJSMAN, A. J.; THOMAS, R. J. Aggregate size distribution and stability of an oxisol under legume-based and pure grass pastures in the eastern colombian savannas. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 33, n. 2, p. 153-165, Feb. 1995.

HENKLAIN, J. C.; MEDEIROS, G. B. de. Evolução e estado da arte do plantio direto na agricultura. In: SEMINÁRIO DE CULTIVO MÍNIMO, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IPEF, 1995. p. 8-15.

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 231 p.

HÖFER, H. et al. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, Oxford, v. 37, n. 2, p. 229-235, Apr. 2001.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 23-36, Feb. 1995.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, Jan. 2000.

JACOT, A. P. The fauna of the soil. **Quarterly Review Biology**, Cambridge, v. 15, p. 28-57, 1940.

JIMÉNEZ, J. J. et al. Earthworm communities in native savannas and man-made pastures of the Eastern Plains of Colombia. **Biology Fertility Soils**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 101-110, Jan. 1998.

KIEHL, J. E. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo: planta, atmosfera**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

KLEIN, V. A. **Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. Passo Fundo: UPF, 2005. 61 p.

KLEIN, V. A. et al. Densidade máxima e relativa de solos sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Resumos Expandidos...** Santa Maria: UFSM, 2004. 1 CD-ROM.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de 3 latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, mar./abr. 1999.

LAVELLE, P. Functional domains in soils. **Ecology Research**, Tucson, v. 17, n. 4, p. 441-450, 2002.

LAVELLE, P. et al. Management of earthworms populations in agrosystems: a possible way to maintain soil quality? In: CLARHOLM, M.; BERGSTRÖM, L. (Ed.). **Ecology arab lands**. Netherlands: Kluwer Academic, 1989. p. 109-122.

\_\_\_\_\_. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 3-15, Jan. 2006.

\_\_\_\_\_. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Sayce, 1994. p. 137-169.

LAVELLE, P.; MARTIN, A. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 24, n. 12, p. 1491-1498, Dec. 1992.

LIMA, H. N. et al. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 59-68, jan./fev. 2006.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compactacion effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1/2, p. 107-136, Apr. 2003.

LOBRY-DE-BRUYN, L. A.; CONACHER, A. J. The role of termites and ants in soil modification: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 28, n. 1, p. 55-93, Jan. 1990.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.

LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1077-1082, jul. 2009.

MAFRA, A. L. et al. Ação das minhocas na estrutura e composição química de um solo arenoso hidromórfico do Amazonas. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: EMBRAPA, 2007. v. 1, p. 407-419.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

MARINISSEN, J. C. Y.; DEXTER, A. R. Mechanisms of stabilization of earthworm casts and artificial casts. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 9, n. 2, p. 163-167, Apr. 1990.

MARTIN, A. Short and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil organic matter. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 11, n. 2, p. 234-238, Apr. 1991.

MARTIN, A.; MARINISSEN, J. C. Y. Biological and physico-chemical processes in excrements of soil animals. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 2, p. 331-347, Feb. 1993.

MARTINS, P. C. C. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Cambissolo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental**. 2009. 44 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MARTINS, S. G. et al. Avaliação de atributos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, jan./jun. 2002.

MCKENZIE, B. M.; DEXTER, A. R. Physical properties of casts of the earthworm *Aporrectodea rosea*. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, n. 2, p. 152-157, Mar. 1987.

MELO, V. F.; SILVA, J. R. C. Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico, em áreas sob cultivo e vegetação natural de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1995. v. 3, p. 1890-1892.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 63-81, Jan. 1996.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. 2005. 64 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, T. S. et al. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 4, p. 509-515, jul./ago. 1996.

PASHANASI, B. et al. Effect of the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* on soil chemical characteristics and plant growth in a low-input tropical agroecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 28, n. 6, p. 801-810, Dec. 1996.

PERUSI, M. C.; CARVALHO, W. A. Avaliação da estabilidade de agregados de Argissolos em diferentes sistemas de uso e manejo no município de Anhumas, SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 94-111, mar. 2007.

PETERSON, R. A. O fator água. In: \_\_\_\_\_. **Fundamentos de manejo de pastagens**. São Paulo: Instituto de Zootecnia da Secretariada Agricultura, 1970. p. 63-75.

PIFFNER, L.; LUKA, H. Earthworm population in two low-input cereal farming systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 37, n. 2, p. 184-191, June 2007.

PONGE, J. F. Horizons and humus forms in beech forests of the Belgian Ardennes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 12, p. 1888-1901, Dec. 1999.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceito, processo e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 701-709, set./out. 2005.

SCHEU, S. Microbial activity and nutrient dynamics in earthworm casts (Lumbricidae). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, n. 2, p. 230-234, May 1987.

SEIXAS, F. **Compactação do solo devido a colheita de madeira**. 2000. 75 f. Tese (Livre Docência em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2000.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos florestais na compactação do solo causada pelo transporte primário de madeira. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 54, n. 1, p. 9-16, jan. 1998.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 855-860, jul. 2002.

SIROIS, D. L.; STOKES, B. J.; ASHMORE, C. Primary transport of wood on sensitive sites in the Southeast. In: ANNUAL COFE MEETING, 8., 1985, Corvallis. **Proceedings...** Corvallis: Council Forest Engineers, 1985. p. 122-127.

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-662, jul./set. 2004.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell Scientific, 1979. 372 p.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, n. 2, p. 217-243, Aug. 1994.

TOPOLIANTZ, S.; PONGE, J. F.; VIAUX, P. Earthworm and enchytraeid activity under different arable farming systems, as exemplified by biogenic structures. **Plant and Soil**, The Hague, v. 225, n. 1, p. 39-51, Feb. 2000.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDE, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 573-581, jul./ago. 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnico, 23).

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, n. 2, p. 195-276, 2002.

TRINDADE, E. F. S. **Atributos físico-hídricos e matéria orgânica do solo em função de sistemas de uso e manejo da vegetação secundária**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

VELASQUEZ, E. Cambios en las comunidades de plantas influenciados por la acroagregación del suelo a través de las actividades de la macrofauna del suelo en la Amazonia brasilera. In: WORKSHOP PAN-AMAZÔNICO, BIODIVERSIDADE DO SOLO, 4., 2007, Rio Branco. **Resumos...** Rio Branco: CSM-BGBD/BiosBrasil, 2007. 1 CD-ROM.

VELASQUEZ, E. et al. This ped is my ped: visual separation and NIRS spectra allow determination of the origins of soil macro-aggregates. **Pedobiologia**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 75-87, 2007.

WOOD, T. G. Termites and the soil environment. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 228-236, Aug. 1988.

## CAPITULO 2

### **Propriedades físicas do solo e matéria orgânica em diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental**

#### **RESUMO**

A necessidade de transformar os recursos naturais degradados em áreas produtivas, melhorando a qualidade de vida humana e a capacidade de suporte dos ecossistemas demanda a busca por alternativas de uso e manejo do solo que sejam mais adaptados à realidade e condições edafoclimáticas locais. Uma característica relevante dos solos da região da Amazônia ocidental é a presença de argila expansiva com minerais 2:1 (Esmectida), os quais criam uma situação particular, principalmente nos atributos físicos do solo. Este trabalho teve como objetivo verificar se as propriedades físicas (estabilidades de agregados, densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macro e microporosidade e resistência a penetração (RP)) e matéria orgânica do solo são influenciadas pelos sistemas de uso da terra (SUT). A área experimental está localizada no município de Benjamin Constant, AM e foi dividida em seis janelas, as quais foram selecionadas seis SUT: Floresta Primária (FP), Floresta Secundária em estágio avançado de regeneração (FSA); Floresta Secundária em estágio inicial de regeneração (FSI), Agrofloresta (AGRO), Agricultura (AGRI) e Pastagem (PA). Em março de 2008 foram coletadas, em cada SUT e nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, 10 amostras indeformadas e 10 amostras deformadas para a avaliação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, resistência à penetração, estabilidade de agregados e matéria orgânica do solo (MOS). Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias agrupadas pelo teste Scott-Knott. A MOS foi maior em todos os SUT, na profundidade de 0 a 10 cm, proporcionando maior valor de diâmetro médio geométrico (DMG) nesta profundidade. O solo da FP pode ser considerado um solo originalmente não ideal, pois apresenta baixos valores de DMG, valores PT acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e macroporosidade abaixo de  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . O PA apresenta altos valores de DMG em função do pisoteio animal, valores de RP maiores, reflexo da compactação, valores PT na profundidade de 0 a 10 cm acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , macroporosidade menores ou iguais a  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e microporosidade acima de 0,33, valores considerados não ideais, demonstrando ser o SUT mais degradado.

Palavras-chave: Estabilidade de agregados. Estrutura do solo. Porosidade do solo.

## ABSTRACT

The need to become degraded natural resources into productive areas, improving the quality of human life and the wild environment, demands the researchs about alternative land use and management more adapted to local particular characteristics of soil and climatic conditions. An important characteristic of soils in this region is the presence of expansive clay with minerals 2:1 (Esmectita). It creates particular and special soil physical properties . The proposal focouses of this study were verify if the physical properties (aggregate stability, bulk density, total porosity (TP), macro and microporosity, and resistance to penetration (RP)) and soil organic matter are influenced by systems land use (SLUE). The experimental area was located in the city of Benjamin Constant - AM and was divided into six windows and were selected six SUT for this study: Primary Forest (PF), secondary forest regeneration in Advanced Stage (ASF) and secondary forest regeneration in Early Stage (FSI) Agriforestry (AGRO) Agriculture (AGRI) and pasture (PA). In March 2008, were collected in each SUT and at depths 0-10, 10-20 and 20 to 30 cm, 10 undisturbed and 10 disturbed samples for analytical determination of soil density, total porosity, macro and micro, resistance to penetration, aggregate stability and soil organic matter (SOM). The data were computed using ANOVA, and the difference between average data, evaluted by Scott-Knott test. The SOM showed the highest values in all the SUT in the 0 to 10 cm attributing the highest values of geometric mean diameter (DMG) at this depth. The soil of the FP could be considered a not ideal originally soil once it showed low values of DMG, PT values above  $0.50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  and macroporosity below  $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . The PA showed the highest values of DMG, according to animal trampling, higher PR values, reflecting in the compression, PT values at depth of 0 to 10 cm above  $0.50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , macroporosity greather than or equal to  $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  and microporosity above 0.33. These values are considered not ideal, showing that this SUT is the most degraded.

Keywords: Stability of aggregates. Soil structure. Soil porosity.

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira representa cerca de um terço das florestas tropicais úmidas da Terra e tem quase 300 milhões de hectares de floresta densa e 240 milhões de hectares de floresta aberta. Mas, a cada ano que passa, vem sendo ameaçada pelo grande desmatamento.

A taxa de desflorestamento em 2008 foi de 12.909 km<sup>2</sup> e, em 2009, de 7.464 km<sup>2</sup> (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2010). Nesta região há grande necessidade de se transformar as áreas naturais degradados em áreas produtivas, com potencial econômico sustentável, melhorando a qualidade de vida humana e a capacidade de suporte dos ecossistemas. Para este propósito, devem-se buscar alternativas de uso e manejo do solo que sejam mais adaptados à realidade e às condições edafoclimáticas locais. Assim sendo, as pesquisas devem ser direcionadas a fornecer dados consistentes para a implantação de técnicas de manejo que garantam a sustentabilidade do sistema em longo prazo, mantendo um ambiente funcional no solo para o crescimento de plantas, sem limitações relacionadas à disponibilidade de água, aeração e impedimento mecânico. No entanto, essas técnicas adequadas e sustentáveis não são seguidas corretamente, principalmente quando se trata da implantação de pastagens.

A atividade pecuária, quando mal manejada, é considerada a mais predadora na região, o que faz com que as pastagens locais tenham baixa vida útil, devido à implantação inadequada de espécies de gramíneas, a não fertilização do solo e aos problemas de manejo inadequado, os quais degradam as propriedades físicas do solo (SERRÃO; HOMMA, 1991). Portanto, as atividades de exploração nos solos dessa região devem ser cuidadosamente planejadas e as práticas de conservação do solo devem ser aplicadas desde o

início do uso, visando preservar o potencial produtivo do solo para as gerações futuras.

A conversão de florestas em áreas agrícolas pode levar a alterações nas propriedades físicas, as quais são evidenciadas por modificações nos valores de densidade do solo, porosidade total, distribuição do tamanho dos poros e porosidade de aeração, armazenamento e disponibilidade de água às plantas, infiltração de água, agregação e teor de matéria orgânica (CARVALHO; FIGUEIREDO; COSTA, 1999; LONGO, 1999). Em estudos nos quais se compararam propriedades físicas de quatro solos (Latosolo Vermelho-Amarelo húmico, Cambissolo Húmico álico, Cambissolo Bruno húmico e Podzólico Vermelho-Escuro) sob mata nativa, cultivo convencional, plantio direto e pastagem nativa, constatou-se que houve degradação da estrutura do solo cultivado, comprovada pelo aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total e diminuição da taxa de infiltração da água nos solos manejados (plantio convencional) (ANJOS et al., 1994). Em outro trabalho na região amazônica, sob pastagens com diferentes estágios de degradação e mata nativa, Muller et al. (2001) observaram que no solo de mata os valores de densidade do solo foram menores que nas áreas onde o solo foi cultivado com pastagens. Os autores deste trabalho ressaltam que esta maior densidade encontrada nas pastagens pode ser consequência da menor cobertura do solo.

Os solos da região do Alto Solimões, mais especificamente as áreas onde está situado o projeto BiosBrasil, são caracterizados por apresentar altos teores de alumínio e solos com presença de argilosminerais 2:1, como, por exemplo, esmectitas, o que dá uma característica diferenciada a esta região (COELHO et al., 2005). Um dos principais fatores que afetam os atributos físicos desse tipo de solo é a presença deste argilomineral (2:1), que tem a capacidade de se expandir, o que é um diferencial particular quando se estuda os atributos físicos do solo. Outro fator importante é o manejo adotado no solo

desta região, cujas comunidades locais utilizam algumas áreas para plantio de seu alimento, principalmente mandioca, cana, milho, feijão e frutíferas. Para a sua produção, é feita a derrubada da mata e, consecutivamente, a queimada dos restos vegetais, práticas estas que podem influenciar os atributos físicos.

Neste contexto, as hipóteses deste estudo foram as seguintes: as propriedades físicas são influenciadas pelos diferentes sistemas de uso da terra (SUT) e a Mos é influenciada pelos diferentes SUT na região do Alto Solimões, AM.

O presente trabalho foi realizado com objetivo de verificar se as propriedades físicas (estabilidades de agregados, densidade do solo, macro e microporosidade e resistência à penetração) e a matéria orgânica do solo são influenciadas pelos SUT.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A área experimental está localizada no município de Benjamin Constant, AM, entre 4°20' e 4°26' de latitude sul e entre 69°36' e 70°2' de longitude oeste. O estudo desta área está incluído no projeto "Conservation and Sustainable Management of Below - Ground Biodiversity", denominado no Brasil de BiosBrasil, cujo objetivo é promover a conscientização, o conhecimento e a compreensão da biodiversidade do solo, importante para a produção agrícola sustentável em paisagens tropicais, pela demonstração de métodos para a conservação e manejo sustentável.

### **2.1 Caracterização climática, solo e relevo**

O clima da região é tropical úmido a superúmido Af (Köppen), sem estação seca, com temperatura média anual de 25,7°C, máxima de 40°C e mínima de 15°C. A precipitação média anual é de 2.562 mm (COELHO et al., 2005).

Quanto ao solo, predomina o Cambissolo Háptico alumínico (CXA), de acordo com os critérios da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006). Mais detalhes podem ser encontrados em Coelho et al. (2005). O relevo varia de plano, nas planícies aluviais e nos topos de morros curtos a alongados a suave, ondulado e forte ondulado, nas demais posições da paisagem.

### **2.2 Vegetação e uso da terra**

A vegetação da região é composta por Floresta Ombrófila Aberta Aluvial e a Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (BRASIL, 1977). A

caracterização dos sistemas de uso da terra (SUT) nos pontos amostrais foi realizada por meio de um trabalho de campo, quando foram coletadas as informações das coordenadas geográficas e realizada a visualização das práticas culturais empregadas e do histórico do uso das áreas, detalhadas em Fidalgo et al. (2005).

Os sistemas de uso da terra podem ser descritos como Floresta Primária (FP), localizado na sub-região dos baixos platôs da Amazônia (BRASIL, 1977); Floresta Secundária em estágio avançado de regeneração (FSA) com mais de cinco anos de formação, após ter sido área de cultivo; Floresta Secundária em estágio inicial de regeneração (FSI) com menos de cinco anos de formação, também após ter sido área de cultivo; Agricultura (AGRI), áreas de cultivos agrícolas anuais (mandioca, milho, cana-de-açúcar e abacaxi) e semiperenes (banana); Agrofloresta (AGRO), formada de espécies florestais secundárias, além de espécies de interesse econômico, como cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), pupunha (*Bactris gassipae*), banana, abacaxi, café e outras; Pastagem (PA), área restrita à cidade de Benjamin Constant, implantada em 1970, com capim-imperial (*Axonopus scoparius*). Após declínio, aproximadamente onze anos decorridos da implantação, este foi substituído por *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* e *Paspalum notatum* Flugge, apresentando, atualmente, espécies invasoras. A reforma das pastagens é realizada por meio do plantio de mudas em covas e, três vezes ao ano, é realizada uma limpeza com facão, enxada e machado. Em todos os SUT não são aplicados corretivos, fertilizantes e defensivos agrícolas (FIDALGO et al., 2005).

### **2.3 Plano amostral**

Foram selecionadas seis áreas, denominadas de janelas, conforme descrito por Huising et al. (2010). Cada janela tem aproximadamente 16 pontos

amostrais equidistantes 100 m, formando um quadrado com 300 m de lado e com quatro pontos de amostragem em cada lado (9.000 m<sup>2</sup> de área total). No entanto, a fim de garantir o máximo de representatividade ambiental (uso, cobertura do solo e condições edáficas), foram realizadas adaptações ao esquema de amostragem para cada janela e alguns pontos foram espaçados 50 m entre si.

#### **2.4 Amostragem do solo**

Em março de 2008 foram coletados em cada SUT e, nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm, 10 amostras de solo indeformadas em anéis cilíndricos com dimensões de 6,4 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, utilizando amostrador de Uhland, totalizando 180 amostras, para a avaliação da densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração. Para avaliar a estabilidade de agregados, atributos químicos, matéria orgânica, densidade de partículas e textura, foram coletadas em cada SUT e nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, 10 amostras deformadas, nos mesmos pontos que as amostras indeformadas. Os pontos amostrados são descritos na Tabela 1 e sua localização detalhada pode ser encontrada em Fidalgo et al. (2005).

Tabela 1 Janelas, sistemas de uso da terra (SUT), pontos amostrais e devidas coordenadas. Coleta em março de 2008. Projeção UTM, datum SAD-69, Zone 19S

Janela	SUT	Pontos amostrados	Coordenada média	
			Latitude	Longitude
1	FP <sup>1</sup>	3, 4, 8, 9, 10, 13,15 e 16	399307,64	9510442,31
2	AGRO <sup>2</sup>	17, 20, 25 e 32a	399316,66	9512774,83
2	FSI <sup>3</sup>	18	399264,14	9512583,50
2	AGRI <sup>4</sup>	19, 23,26, 29 e 31	398998,71	9512757,99
3	FSA <sup>5</sup>	33 e 44	433338,20	9518167,45
3	FSI	35, 36 e 38	433538,58	9518186,30
3	AGRI	37, 39 e 39a	433431,32	9518278,24
4	FP	61 e 62	433367,44	9518706,47
4	FSA	53	433388,76	9518509,63
4	FSI	50, 51, 54, 55, 63 e 64	433162,98	9518792,95
4	AGRI	49 e 52	433290,93	9518499,77
5	FSA	65, 70, 71, 74, 78, 79 e 80	432750,71	9518755,00
5	AGRO	66, 67, 67a, 68a, 72 e 73	432726,66	9518952,60
5	AGRI	69 e 72a	432921,68	9518977,52
6	PA <sup>6</sup>	82, 83, 84, 85, 85a, 86, 87, 89, 91 e 92	387122,42	9514384,36

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRI: Agricultura, <sup>5</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>6</sup>PA: Pastagem

#### 2.4.1 Caracterização química do solo

Os atributos químicos do solo, como pH e teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocável no solo, foram avaliados conforme métodos compilados em EMBRAPA (1997). Os valores podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 Atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de uso da terra (SUT) e profundidades

SUT	pH	Cátions trocáveis				
		Ca	Mg	Al	K	P
	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>				mg dm <sup>-1</sup>
Profundidade 0 a 10 cm						
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	4,80*	5,65 Aa	1,29 Aa	2,35 Ab	66,79*	5,66 Aa
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	4,59	6,85 Aa	1,67 Aa	2,40 Ab	80,44	5,65 Aa
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	4,86	5,57 Aa	1,60 Aa	2,29 Aa	73,05	5,70 Aa
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	4,66	6,47 Aa	1,46 Aa	2,24 Ab	70,52	4,54 Aa
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	4,89	7,29 Aa	1,67 Aa	1,43 Ab	71,86	5,73 Aa
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	4,92	2,12 Ba	0,81 Aa	2,05 Ab	50,32	4,46 Aa
Profundidade 10 a 20 cm						
<b>FP</b>	4,80*	2,49 ABab	0,85 Aba	6,29 Aa	44,98*	2,71 Ab
<b>FSA</b>	4,71	4,01 Aba	1,23 Aa	5,89Aab	60,29	2,94 Ab
<b>FSI</b>	4,99	3,59 Aba	1,22 Aa	5,04 Aa	56,61	3,08 Ab
<b>AGRO</b>	4,78	5,14 Aa	1,10Aba	5,97 Aa	47,64	3,24 Aa
<b>AGRI</b>	4,87	4,61 Aba	1,09 Aba	4,66 Aab	61,01	3,65 Aab
<b>PA</b>	4,91	1,54 Ba	0,42 Ba	4,30 Aa	40,55	3,24 Aa
Profundidade 20 a 30 cm						
<b>FP</b>	4,80*	1,91 Ab	0,68ABa	9,00 Aba	45,52*	2,17 Ab
<b>FSA</b>	4,71	3,73 Aa	1,22 Aa	8,86 ABa	66,58	2,73 Ab
<b>FSI</b>	4,93	4,03 Aa	1,17 Aa	6,11 ABa	61,71	2,86 Ab
<b>AGRO</b>	4,86	3,61 Aa	0,88 ABa	10,18 Aa	52,93	2,09 Ab
<b>AGRI</b>	4,82	3,43 Aa	0,92 Aa	7,15 ABa	56,07	2,64 Ab
<b>PA</b>	4,89	1,31 Aa	0,31 Ba	5,10 Ba	38,27	2,70 Aa

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de significância, médias de 10 repetições. \* Não significativo

#### **2.4.2 Caracterização física solo**

**Textura do solo:** a metodologia utilizada para a sua determinação foi o método do hidrômetro (BOUYOUCOS, 1951). Os valores podem ser encontrados na Tabela 3.

#### **Densidade de partículas (Dp)**

A Dp foi determinada de acordo com Blake e Hartge (1986b). Os valores podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 Distribuição de tamanho de partículas do solo (argila, areia e silte) e densidade de partículas (DP) nos diferentes sistemas de uso da terra (SUT) e nas diferentes profundidades

SUT	Argila	Areia	Silte	DP
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----			----- (kg cm <sup>-3</sup> ) -----
Profundidade de 0 a 10 cm				
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	266	205	529	2,42
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	348	196	456	2,41
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	327	233	440	2,49
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	298	200	502	2,39
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	325	201	474	2,42
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	293	224	483	2,45
Profundidade de 10 a 20 cm				
<b>FP</b>	318	130	552	2,50
<b>FSA</b>	376	183	441	2,50
<b>FSI</b>	396	154	450	2,50
<b>AGRO</b>	363	142	495	2,47
<b>AGRI</b>	372	163	465	2,47
<b>PA</b>	317	230	453	2,45
Profundidade de 20 a 30 cm				
<b>FP</b>	373	109	518	2,49
<b>FSA</b>	392	231	377	2,55
<b>FSI</b>	459	113	428	2,57
<b>AGRO</b>	401	127	472	2,54
<b>AGRI</b>	423	131	446	2,54
<b>PA</b>	344	199	457	2,50

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem. Média de sete repetições

### Matéria orgânica do solo (MOS)

A MOS foi determinada pelo método de colorimetria, seguindo os procedimentos descritos por Cantarella, Quaggio e Raij (2001). Em cada um dos seis sistemas de uso da terra foram analisadas 10 amostras, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, tendo os resultados sido expressos em teores de

MOS, assumindo 58% de C na composição da MOS do solo (fator de Van Bemmelen = 1,72).

#### 2.4.2.1 Propriedades físicas do solo

**Distribuição dos agregados por tamanho:** para avaliar a estabilidade dos agregados foram coletados, aproximadamente, 500 g de solo formada de torrões. A metodologia utilizada para a determinação da estabilidade de agregados em água foi de acordo com Kemper e Chepil (1965), a qual calcula o diâmetro médio geométrico (DMG) por meio dos valores obtidos pela passagem dos agregados por um conjunto de peneiras de 8; 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm sob agitação de 15 minutos, coletando o material restante em cada peneira e pesado.

**Densidade do solo (Ds):** obtida por meio da utilização do método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986a).

**Porosidade total do solo (PT) e distribuição de poros por tamanho:** a PT foi calculada conforme a equação de Vomocil (1965) descrita a seguir:

$$PT = [1 - (Ds/Dp)] \times 100$$

em que Ds é a densidade do solo e Dp é a densidade de partículas.

A porosidade total pode ser dividida em: porosidade não capilar ou macroporosidade (poros com diâmetro maior ou igual a 0,05 mm) e porosidade capilar ou microporosidade (poros com diâmetro menor que 0,05 mm).

A determinação da microporosidade foi obtida aplicando-se uma sucção de 6 KPa e calculada conforme a expressão: Microcporos = [(peso do solo a 6 kPa - peso do solo seco)/peso do solo seco]. A macroporosidade foi

determinada por meio da equação: Macroporos = (PT – Microporos), conforme Grohmann (1972).

**Resistência à penetração (RP):** a resistência à penetração foi determinada utilizando-se penetrômetro eletrônico modelo MA 933, marca Marconi, com velocidade constante de 100 mm min<sup>-1</sup>. Em cada um dos seis sistemas de uso da terra foram analisadas sete amostras, nas profundidades de 0 a 3, 10 a 13 e 25 a 28 cm e em cada profundidade foram realizadas as determinações por amostra, em diferentes conteúdos de água (-6 kPa e -1.500 kPa), totalizando 252 leituras (6 usos x 3 profundidades x 7 repetições x 2 umidades). As amostras foram penetradas durante 12 segundos, gerando 12 valores de resistência à penetração por amostras. Destes, foram excluídos os dois primeiros e os dois últimos valores, pois estes podem sofrer uma interferência da superfície de penetração coletada e registrar valores fora do normal. Assim, restaram oito valores por ponto, tendo sido calculada a repetência à penetração média de cada ponto. Os valores de RP, obtidos em kgf cm<sup>-2</sup>, foram multiplicados pelo fator 0,098 para a transformação em MPa, conforme Tormena, Roloff e Sá (1998).

### 2.4.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ANOVA e transformados quando necessários, conforme recomendação do programas SAS Learning Edition 2.0 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2004) e as médias agrupadas pelo teste Scott-Knott, que considera a diferença mínima significativa a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2000). Depois, foi feita uma correlação de Pearson entre as propriedades físicas do solo e MOS.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi maior na camada 0-10 cm, diferindo estatisticamente das demais profundidades, sendo estas outras profundidades (10 a 20 e 20 a 30 cm) iguais estatisticamente (Gráfico 1), exceto na PA. O maior valor de MOS na profundidade de 0 a 10 cm é consequência do maior acúmulo de restos vegetais e animais na superfície do solo, conforme relatado por vários autores (CERRI et al., 2003; NEVES JÚNIOR, 2005), confirmando nossos estudos. Um maior valor de MOS na camada superficial favorece um desenvolvimento melhor dos agregados do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990), o que foi confirmado neste estudo na profundidade de 0 a 10 cm para FSA e PA, na qual se obteve maior valor de DMG (Tabela 4). Considerando uma mesma profundidade, só ocorreu diferença estatística na profundidade de 10 a 20 cm, na qual a pastagem apresentou o maior valor de MOS em comparação com as demais SUT (Gráfico 1). Estudos realizados em áreas de pastagens da Amazônia corroboram os resultados deste estudo, pois os mesmos relataram um aumento no conteúdo de carbono após a conversão da floresta em pastagem (CERRI et al., 2003; NEVES JÚNIOR, 2005). Estes valores podem ser considerados característicos nesta região, onde há conversão de floresta primária em pastagem, agrofloresta e agricultura.

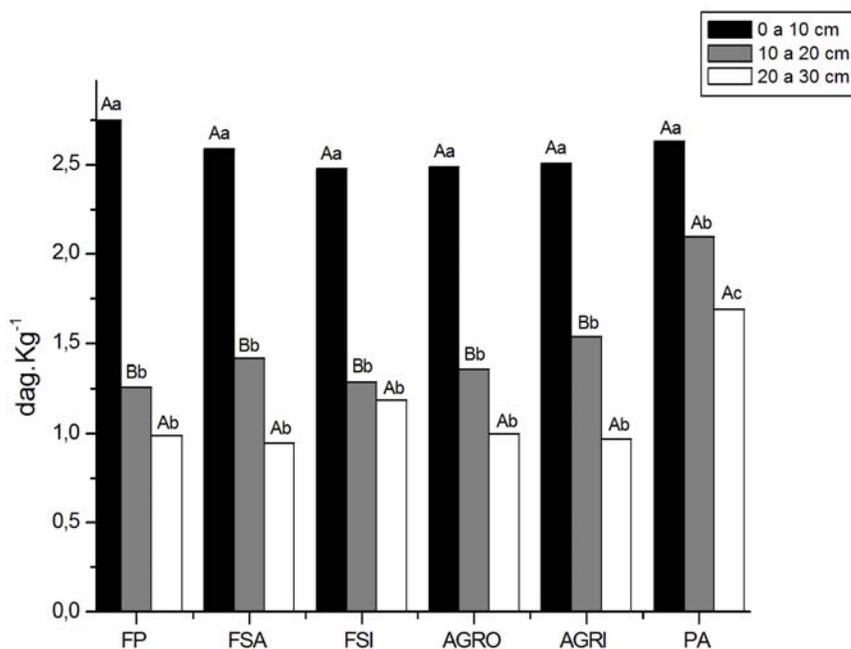


Gráfico 1 Matéria orgânica do solo nos diferentes SUT e nas diferentes profundidades. FP: Floresta primária, FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, AGRO: Sistemas agroflorestais, AGRI: Agricultura, PA: Pastagem. Letras maiúsculas separam os SUT em cada profundidade e minúsculas separam as profundidades em cada SUT, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Média de sete repetições. CV: 34,84%

A camada de 0 a 10 cm apresentou maior agregação, independente do SUT (Tabela 4), sendo que em FSI, AGRO e AGRI não foram encontradas diferenças estatísticas entre as profundidades. O maior valor de DMG na camada de 0 a 10 cm pode ser em resposta ao maior teor de matéria orgânica do solo nesta profundidade (Figura 1). Sá et al. (2000) também encontraram maior estabilidade de agregados em solos com maior teor de MOS, corroborando os resultados encontrados neste estudo. Em outro estudo, Neves, Feller e Kouakoua

(2006) encontraram correlação positiva entre carbono total do solo e estabilidade de agregados, demonstrando que um maior teor de carbono orgânico no solo resulta numa melhor agregação, concordando com os resultados deste trabalho, no qual foi encontrada correlação de Pearson positiva, com coeficiente de 0,26% a 1% de significância, entre DMG e MOS.

Em cada profundidade foram encontradas diferenças estatísticas entre os SUT, sendo que, na profundidade de 0 a 10 cm, PA e FSA apresentaram os maiores valores de DMG em relação aos demais SUT (Tabela 4). Um dos fatores que podem ter auxiliado no maior valor de DMG PA é o pisoteio animal. Como, no passado, o local tinha um intenso pastejo, o qual pode ter compactado do solo e ter transformando a estrutura do solo sob PA em uma estrutura maciça, isso conferiu maior resistência dos agregados, o que proporcionou um maior valor de DMG que, na realidade, pode ser interpretado como sendo uma resposta da estrutura do solo à maior compactação promovida pelo pisoteio animal. Em estudos nesta mesma área, Martins (2009), avaliando a sustentabilidade da estrutura do solo nestes mesmos SUT, encontrou o solo mais compactado na PA, confirmando a hipótese de que maiores valores de DMG podem ser obtidos em resposta da compactação. Segundo Horn et al. (1995), a compactação causa a deterioração da estrutura do solo, formando agregados grandes, mais densos e com poucos poros.

Na profundidade de 10 a 20 cm, PA e AGRO apresentaram valores de DMG maiores do que os demais SUT (Tabela 4). Este maior valor de DMG na PA pode ser resposta do efeito físico das raízes sobre a formação, a manutenção e o tamanho dos agregados do solo. Reid e Goss (1980) encontraram aumento na estabilidade de agregados de um solo arenoso após quatro semanas de cultivo com a gramínea (*Lolium perenne*). Tal efeito foi atribuído à liberação de substâncias orgânicas pelas raízes, que atuam na estabilização de forma direta ou indireta por meio da atividade microbiana. A ação das raízes atua na liberação de

polissacarídeos por hifas de fungos micorrízicos e podem gerar um aumento da estabilidade de agregados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; MULLER et al., 2001). Outro fator pode ser em função de o SUT AGRO apresentar grande quantidade de árvores frutíferas com um sistema radicular profundo. Este maior volume de raízes neste sistema pode ter provocado um adensamento do solo e, consecutivamente, auxiliado na agregação.

Brady e Weil (1999) mencionam que exsudados de raízes e de microrganismos são resistentes à dissolução em água, o que favorece a manutenção da estabilidade dos agregados por períodos superiores a um ano. Esse comportamento inverso do DMG na agricultura poder ser em resposta ao manejo utilizado na implantação das culturas (plantio). O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, rompe os agregados na camada preparada e acelera a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na estabilidade dos agregados do solo (BERTOL et al., 2004; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

À profundidade de 20 a 30 cm, o DMG, no SUT FSA, FSI e AGRO, foi superior aos demais, provavelmente devido ao maior teor de alumínio nesta profundidade, principalmente no uso AGRO (Tabela 2), o que auxilia na agregação. Quanto maior o conteúdo de Al, maior a quantidade de argila que permanece não dispersa, resultando em maior resistência à desagregação e, por conseguinte, nas propriedades relacionadas com a estabilidade desses agregados (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999a).

Tabela 4 Distribuição do diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados nos diferentes sistemas de uso da terra (SUT) e nas diferentes profundidades

SUT	DMG (mm)		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
FP <sup>(1)</sup>	4,60 Ba	4,34 Bb	4,27 Bb
FSA <sup>(2)</sup>	4,66 Aa	4,30 Bb	4,54 Aa
FSI <sup>(3)</sup>	4,51 Ba	4,39 Ba	4,61 Aa
AGRO <sup>(4)</sup>	4,56 Ba	4,62 Aa	4,69 Aa
AGRI <sup>(5)</sup>	4,48 Ba	4,40 Ba	4,44 Ba
PA <sup>(6)</sup>	4,78 Aa	4,53 Ab	4,39 Bb
CV (%)	4,24	9,49	8,87

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha iguais não diferem, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Média de 10 repetições

A densidade do solo não foi estatisticamente diferente entre os SUT, corroborando com Martins (2009) e Neves Júnior (2005) (Gráfico 2). As diferenças estatísticas foram entre as profundidades, tendo, na profundidade de 0 a 10 cm, apresentado os menores valores de densidade do solo quando comparada com as profundidades de 10 a 20 e de 20 a 30 cm (Gráfico 2). Resultados semelhantes foram encontrados na profundidade de 0 a 10 cm para todos os SUT estudados por Rigatto, Dedecek e Mattos (2005). Sá, Pereira e Fontana (2003), estudando solos sob floresta secundária, pastagem e café, obtiveram menor densidade do solo na camada de 0 a 5 cm, corroborando os resultados deste estudo. Os menores valores de D<sub>s</sub> na profundidade 0 a 10 cm podem ser devido ao maior teor de matéria orgânica do solo, nesta profundidade (Tabela 3).

Observando-se a camada de 0 a 20 cm de profundidade, Lemos Filho et al. (2008) constataram que esta apresentava-se menos compactada e com maior teor de matéria orgânica do que a camada de 20 a 40 cm, a qual se apresenta

mais adensada e com um menor teor de MO. Uma hipótese para esse comportamento é que a MOS influencia diretamente a Ds, reduzindo a mesma. Estudos de manejo de solo mostram que a MOS promove manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (FIGUEIREDO; RAMOS; TOSTES, 2008). Moraes, Volkoff e Cerri (1996), estudando solos de florestas da região amazônica, observaram valores de Ds na camada superficial (0 a 5 cm) entre 1,24 a 1,53 g.cm<sup>-3</sup>, maiores do que os encontrados neste estudo, provavelmente em função da diferente mineralogia e textura do solo. Conforme Bertol et al. (2004), o elevado teor de silte pode favorecer a compactação do solo, podendo resultar em uma maior Ds.

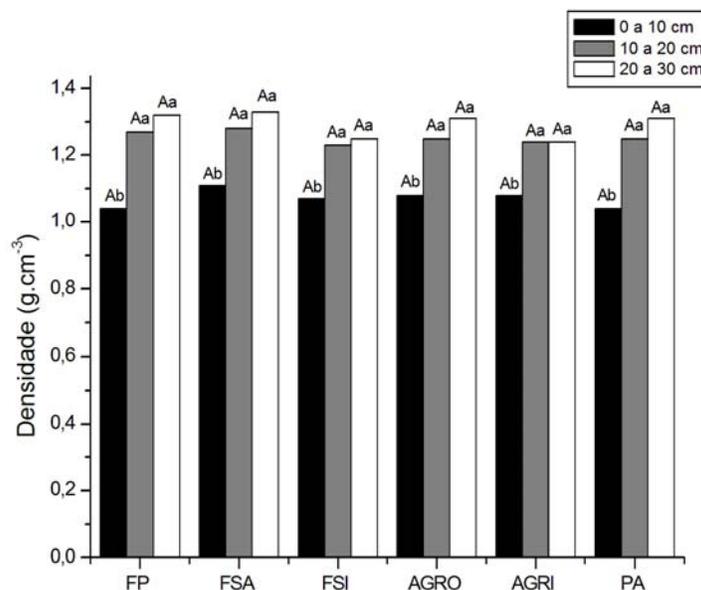


Gráfico 2 Densidade do solo nos diferentes SUT e nas profundidades. FP: Floresta primária, FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, AGRO: Sistemas agroflorestais, AGRI: Agricultura, PA: Pastagem. Letras maiúsculas separam os SUT em cada profundidade e minúsculas separam as profundidades em cada SUT, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Média de sete repetições

Os maiores valores de PT foram encontrados na profundidade de 0 a 10 cm, diferindo estatisticamente das demais profundidades (10 a 20 e 20 a 30 cm), exceto na AGRO (Tabela 5), concordando com os resultados de Rigatto, Dedecek e Mattos (2005). Souza, Leite e Beutler (2004), estudando diferentes SUT na região Amazônica, encontraram valores de PT menores nas profundidades de 20 a 40 cm, quando comparadas com a de 0 a 20 cm, concordando com os resultados deste trabalho. Na profundidade de 0 a 10 cm ocorreram diferenças entre os SUT, tendo os usos FP, FSI e PA apresentado os

maiores valores de PT. Em estudos na região amazônica foi encontrado maior valor de PT na floresta e na capoeira, quando comparados com os cultivos de milho, laranja e pupunha (SOUZA; LEITE; BEUTLER, 2004), provavelmente por ser um ambiente pouco perturbado e mais protegido das intempéries (sol, chuva e vento) (ARAÚJO et al., 2004). Na profundidade de 10 a 20 cm, não houve diferenças entre os usos; já na profundidade de 20 a 30 cm, apresentou um comportamento um pouco diferente que as anteriores, com os maiores valores de PT na AGRI e na FSI, comportamento inverso ao observado na RP (Tabela 6), em que estes dois SUT, nesta profundidade, apresentaram os menores valores de RP na tensão de - 6 kPa.

A macroporosidade variou entre SUT e entre as profundidades, tendo, na profundidade 0 a 10 cm, os usos FSA e FSI apresentando os maiores valores (Tabela 5). Esse comportamento está relacionado, provavelmente, com a textura do solo, pois estes dois SUT apresentaram os maiores teores de areia (Tabela 3). Rigatto, Dedeczek e Mattos (2005) observaram que, de maneira geral, os sítios com textura mais arenosa apresentaram maiores valores de macroporosidade. Nas profundidades 10 a 20 e 20 a 30 cm, não foram encontradas diferenças estatísticas entre os SUS. A floresta apresentou menor macroporosidade na profundidade de 0 a 10 cm, quando comparada com as demais profundidades. Isso pode ser devido ao tipo de estrutura do solo (maciça) e não por um fator antrópico. Os demais SUT não apresentaram efeito de profundidade, não diferindo estatisticamente (Tabela 5). Criando um gradiente de uso do solo, observou-se que houve um aumento na macroporosidade na seguinte escala: FP < AGRI < FSA. Isso mostra que o cultivo do solo seguido do pousio pode vir a melhorar os níveis de macroporosidade destes solos. Observa-se que, em todas as profundidades, com exceção dos SUT FSA e FSI, foram encontrados valores de macroporosidade menores que  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , valor considerado crítico para o bom desenvolvimento das plantas (BAVER; GARDNER; GARNER, 1972). Isso

indica que nestes solos podem ocorrer problemas de aeração em alguns SUT, por serem mais densos naturalmente, resultando em redução da macroporosidade (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1996).

A microporosidade não variou entre os SUT, concordando com os estudos de Silva et al. (2008). Diferenças estatísticas foram encontradas entre as profundidades e a microporosidade foi maior na profundidade de 0 a 10 cm. O uso AGRO não diferiu entre as profundidades (Tabela 5).

De acordo com Kiehl (1979), o solo ideal é aquele com valores entre 0,10 a 0,16  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  para macroporosidade e de até 0,33  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  para microporosidade e acima de 0,50  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  para porosidade total do solo. De acordo com esta proposição, o solo em estudo pode ser considerado não ideal, independente do sistema de uso, pois os valores de macroporosidade estão abaixo de 0,10  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , os de microporosidade acima de 0,33  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e os de porosidade total abaixo de 0,50  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 30 cm. Estes valores indicam possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, restrição ao desenvolvimento das raízes das culturas nestas profundidades, principalmente nas que apresentaram volume de macroporos menor do que 0,10  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  (BERTOL et al., 2004).

Tabela 5 Volume total de poros (PT), macroporosidade, microporosidade do solo nos diferentes sistemas de uso da terra (SUT) e diferentes profundidades

SUT	Profundidades		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
PT ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )			
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	0,57 Aa	0,51 Ab	0,46 Bb
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	0,54 Ba	0,49 Ab	0,48 Bb
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	0,57 Aa	0,50 Ab	0,51 Ab
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	0,51 Ba	0,49 Aa	0,47 Ba
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	0,55 Ba	0,49 Ab	0,51 Ab
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	0,57 Aa	0,49 Ab	0,48 Bb
Macroporos ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )			
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	0,05 Bb	0,09 Aa	0,09 Aa
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	0,10 Aa	0,11 Aa	0,10 Aa
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	0,12 Aa	0,10 Aa	0,11 Aa
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	0,06 Ba	0,09 Aa	0,09 Aa
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	0,07 Ba	0,09 Aa	0,10 Aa
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	0,08 Ba	0,09 Aa	0,10 Aa
Microporos ( $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ )			
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	0,52 Aa	0,42 Ab	0,37 Ab
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	0,44 Aa	0,38 Ab	0,38 Ab
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	0,45 Aa	0,40 Ab	0,40 Ab
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	0,45 Aa	0,40 Aa	0,38 Aa
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	0,48 Aa	0,40 Ab	0,41 Ab
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	0,49 Aa	0,40 Ab	0,38 Ab

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha iguais não diferem, pelo teste de Scot-Knott, a 5% de significância, médias de sete repetições

A resistência à penetração na tensão de 6 kPa não difere estatisticamente nos SUT nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm, corroborando os resultados de Silva et al. (2008) e Tormena et al. (2002). Na profundidade 20 a 30 cm, os usos AGRI e FSI apresentaram menores valores em relação aos outros SUT (Tabela 6), possivelmente em resposta ao manejo nestas áreas, sendo no uso AGRI feito

por capina manual, que movimentada o solo, o que pode ter modificado a sua estrutura, diminuindo, assim, a RP. Em estudos feitos por Silva et al. (2008), os autores avaliaram diferentes usos do solo e observaram que a terra, quando movimentada (gradagem e/ou aração), também apresentou menores valores de RP, em todas as profundidades estudadas, concordando com os resultados deste estudo.

Na profundidade de 20 a 30 cm, a FSI também apresentou baixos valores de RP (Tabela 6), devido, possivelmente, à capina realizada para a implantação de culturas no passado. Como se pode observar, nesta mesma profundidade, há um gradiente de uso do solo (AGRI < FSI < FSA), a RP vai aumentando, demonstrando que, com o passar do tempo, o solo vai ficando mais resistente à penetração. Isso pode ser reflexo do maior número de plantas e de raízes no solo, nas áreas de floresta secundária, atuando na liberação de compostos e crescimento de hifas de fungos micorrízicos e podem gerar um aumento da agregação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e, consecutivamente, um aumento da RP. É possível notar que no PA houve diferenças estatísticas na profundidade 20 a 30 cm, que apresentou o maior valor de RP, provavelmente em função da textura que, neste uso e nesta profundidade, apresentou o maior teor de areia e o menor teor de argila em relação aos outros SUT (Tabela 3). Silva et al. (2008) observaram que, independentemente do potencial da água no solo, a RP diminuiu com o incremento de argila, corroborando os nossos estudos.

Na tensão de 1500 kPa, os valores de RP foram maiores do que os determinados a 6 kPa, devido à menor umidade, pois a umidade tende a aliviar a resistência mecânica do solo (ALMEIDA et al., 2008). Na profundidade de 0 a 10 cm, os SUT, PA e AGRO apresentaram os menores valores de RP, diferindo estatisticamente dos demais. Este menor valor de RP na PA pode ser devido à cobertura proporcionada pela pastagem que pode servir de amortecedor e pelo

efeito promovido pelo enraizamento, que pode alterar a estrutura do solo pelas forças de crescimento das raízes. A introdução de pastagens conferiu menor resistência à penetração, notadamente na camada superficial do solo (0 a 15 cm), com relação aos outros sistemas de preparo (gradagem e arado mais gradagem). As plantas de cobertura contribuíram efetivamente no rompimento da camada de impedimento, podendo-se inferir que elas atuaram como ‘arado biológico’ (BERTOL et al., 2004; TOWNSEND et al., 2003). Outro fator pode ser o maior teor de MO (Figura 1) neste SUT, diminuindo RP.

Na profundidade de 10 a 20 cm, não ocorreram diferenças estatísticas entre os SUT. Já na profundidade de 20 a 30 cm, a PA apresentou maior valor de RP, diferindo de todos os demais SUT. O alto valor de RP na profundidade de 20 a 30 cm na PA pode ser em função de existir uma comparação nesta profundidade, devido ao mau preparo do solo na implantação das mesmas. Townsend et al. (2003), utilizando no preparo do solo, grade, grade mais arado e arado, encontraram maiores valores de RP nas profundidades de 15 a 25 cm, quando comparadas com a profundidade de 0 a 5 cm, concordando com os resultados deste trabalho. A expressiva resistência do solo, na camada de 20 a 40 cm, na pastagem, demonstra que a compactação não é proveniente apenas do pisoteio, mas também do ajuste de partículas (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999b), consequência do entupimento dos poros pelas partículas mais finas, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (OLIVEIRA et al., 1996).

Tabela 6 Resistência à penetração (RP) do solo nos diferentes sistemas de uso da terra (SUT), profundidades e nas tensões de 6 kPa e 1500 kPa

SUT	Tensão de 6 kPa - (MPa)			Tensão de 1500 kPa (MPa)		
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm
<b>FP</b>	0,48 Aa	0,49 Aa	0,49 Aa	0,82 Aa	1,01 Aa	0,85 Ba
<b>FSA</b>	0,45 Aa	0,51 Aa	0,54 Aa	0,89 Aa	0,88 Aa	0,91 Ba
<b>FSI</b>	0,50 Aa	0,52 Aa	0,42 Ba	0,95 Aa	0,94 Aa	0,94 Ba
<b>AGRO</b>	0,41 Aa	0,44 Aa	0,49 Aa	0,53 Bb	0,74 Aa	0,79 Ba
<b>AGRI</b>	0,38 Aa	0,39 Aa	0,39 Ba	0,74 Aa	0,67 Aa	0,62 Ba
<b>PA</b>	0,36 Ab	0,45 Ab	0,61 Aa	0,58 Bb	0,99 Aa	1,34 Aa

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem. Letra maiúsculas na coluna e minúsculas na linha em cada tensão, iguais, não diferem, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância, média de sete repetições

#### 4 CONCLUSÃO

- a) a Mos foi maior em todos os SUT na profundidade de 0 a 10 cm, proporcionando um maior valor de DMG nesta profundidade;
- b) o solo da FP pode ser considerado um solo originalmente não ideal, pois apresenta baixos valores de DMG, valores PT acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e macroporosidade abaixo de  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ;
- c) o PA apresenta altos valores de DMG, em função do pisoteio animal, valores de RP maiores, reflexo da compactação, valores PT na profundidade de 0 a 10 cm acima de  $0,50 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , macroporosidades menores ou iguais a  $0,1 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  e microporosidade acima de 0,33, valores considerados não ideais, mostrando ser o SUT mais degradado;
- d) o manejo adotado de agricultura com pousio subsequente pode gerar uma melhora nas propriedades físicas do solo, principalmente na macroporosidade;
- e) devemos ter mais atenção com esse tipo de solo da região em estudo, pois os valores de macroporosidade são, em geral, baixos ( $<0,10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ ) e pode haver sérios problemas de aeração, prejudicando o crescimento radicular da maioria das culturas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. X. de et al. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 12, p. 2235-2243, nov./dez. 2008.
- ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 139-145, abr./jun. 1994.
- ARAÚJO, E. A. et al. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 307-315, mar./abr. 2004.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARNER, W. R. **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1972. 498 p.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 155-163, mar./abr. 2004.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society Agronomy, 1986a. p. 363-375. (Agronomy Monograph, 9).
- \_\_\_\_\_. Particle density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society Agronomy, 1986b. p. 377-382. (Agronomy Monograph, 9).
- BOUYOUCOS, G. J. A reliberação do hidrômetro método para a análise de solos. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, p. 433-437, 1951.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 200 p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil: Juruá, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1977. 436 p. (Levantamento de Recursos Minerais, 15).

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: UNICAMP, 2001. p. 173-180.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, jan./mar. 1990.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

CERRI, C. E. P. et al. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 9, p. 1879-1887, Oct. 2003.

COELHO, M. R. et al. **Solos das áreas-piloto do projeto GEF BIOS**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 158 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67).

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 175-182, abr./jun. 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

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

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 515-524, jul./set. 1999a.

\_\_\_\_\_. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 507-514, jul./set. 1999b.

FIDALGO, E. C. C. et al. **Levantamento do uso e cobertura da terra de seis áreas amostrais relacionadas ao projeto BiosBrasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, Bethesda, v. 24, n. 1, p. 24-30, Mar. 2008.

GROHMANN, F. Porosidade. In: \_\_\_\_\_. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. p. 77-84.

HORN, R. et al. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, n. 1, p. 23-36, Feb. 1995.

HUISING, E. J. et al. Estratégia e modelo de amostragem para avaliar a biodiversidade do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Ed.). **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010. p. 42-77.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 19 jul. 2010.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (Ed.). **Methods for soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LEMOS FILHO, L. C. de A. et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Scientia Agronomy**, Maringá, v. 39, n. 2, p. 193-202, Feb. 2008.

LONGO, R. M. **Modificações em parâmetros físicos e químicos de Latossolos argilosos decorrentes da substituição da Floresta Amazônica e do Cerrado por pastagens**. 1999. 102 p. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

MARTINS, P. C. C. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Cambissolo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental**. 2009. 44 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 63-81, Jan. 1996.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1409-1418, set. 2001.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica solúvel em água quente na estabilidade de agregados de um latossolo argiloso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1410-1415, nov./dez. 2006.

NEVES JÚNIOR, A. F. **Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia**. 2005. 65 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, T. S. et al. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 4, p. 509-515, jul./ago. 1996.

REID, J. B.; GOSS, M. J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). **Journal of Science and Food Agriculture**, London, v. 31, n. 2, p. 325-328, June 1980.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 701-709, set./out. 2005.

- SÁ, M. A. C. de et al. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1825-1834, out. 2000.
- SÁ, R. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama, ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 95-99, 2003.
- SERRÃO, E. A. S.; HOMMA, A. K. O. **Agriculture in the Amazon: the question of sustainability**. Washington: Committee for Agriculture Sustainability and Environment in the Humid Tropics, 1991. 100 p.
- SILVA, Á. P. da et al. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 1, p. 1-10, jan./fev. 2008.
- SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 654-662, 2004.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS® learning**. Version 2.0. Cary, 2004. 1 CD-ROM.
- TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 301-309, mar./abr. 1998.
- TOWNSEND, C. R. et al. Resistência à penetração do solo sob pastagens degradadas na Amazônia Ocidental, submetidos a diferentes métodos de introdução de leguminosas forrageiras. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 25, n. 1, p. 36-38, 2003.
- VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 299-314.

### CAPITULO 3

#### ***Oligochaetas* correlacionadas com atributos físicos do solo na região do alto solimões – Amazônia**

#### **RESUMO**

Os estudos na região amazônica do Alto Solimões ainda são escassos, principalmente nos solos com dois sistemas de uso típico: primeiro, a agricultura com derrubada e queima da mata (feita pelas comunidades locais) e segundo, as pastagens que substituem as florestas e criam um ambiente totalmente diferente do anterior, modificando a física, a química e a biologia do solo. Neste contexto, este trabalho foi realizado com os objetivos de verificar se as *Oligochaetas* sofrem influência dos sistemas de uso da terra (SUT) e do tempo, e avaliar a sua relação com os atributos físicos e matéria orgânica do solo na região do Alto Solimões, AM. Foram selecionadas seis janelas no município de Benjamin Constant, AM, as quais são compostas por seis SUT: Floresta primária (FP), Floresta secundária em estágio avançado de regeneração (FSA), Floresta secundária em estágio inicial de regeneração (FSI), Agrofloresta (AGRO), Agricultura (AGRI) e Pastagem (PA). Em janeiro de 2009 foram coletados cinco pontos ao acaso em cada SUT para avaliação das *Oligochaetas* nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, por meio da retirada de um monólito quadrado de 50 cm lado, nos mesmos pontos que as amostras físicas e químicas. Para caráter de comparação, similarmente, foram amostradas *Oligochaetas* na profundidade de 0 a 10 cm, utilizando um monólito quadrado de 50 cm. Os resultados foram submetidos à análise de variância ANOVA e as médias agrupadas pelo teste Scott-Knott. Em seguida, os dados de abundância e biomassa foram submetidos a uma análise de componentes principais (ACP), sendo utilizados os atributos físicos como variáveis explicativas. Também foram feitas análises de correlação canônica (ACC) entre os atributos biológicos (abundância de minhocas e enquitreídeos e biomassa total), atributos físicos (densidade solo, densidade partícula, diâmetro médio geométrico (DMG), resistência à penetração (Rp), macro e microporosidade, areia, argila e silte) e matéria orgânica o solo (Mos). Maiores abundância e biomassa minhocas foram encontradas na PA e AGRO, em comparação aos outros SUT, mantendo o comportamento nos SUT com o passar dos anos. A ACP demonstrou que a PA e AGRO estão fortemente correlacionadas com a abundância de minhocas e biomassa. Os atributos físicos que mais auxiliaram na separação dos SUT foram Mos, Rp, DMG e demonstraram alta correlação com a abundância de minhocas.

Palavras-chave: Minhocas. ACP. ACC.

## ABSTRACT

The studies in the Amazon region of Alto Solimões are still restricted specially about soils with two typical system of use. Firstly, the agriculture where are carry out tree felling and burns (accomplished by local communities). On the other hand, the grassland replacing forests have created a different environment from the previous one, modifying the physics, chemistry and biology of soil. In face of this context, the objective of this work was to verify if the *Oligochaeta* are influenced by the land use systems (SUT) and environment, and its relationship to physical and soil organic mater in the region of Alto Solimões (Amazon –Brazil). It was selected six windows in the city of Benjamin Constant, which shows six different SUT: Primary forest (PF) in advanced secondary forest regeneration (ASF) and secondary forest in the early stages of regeneration (FSI), Agroforestry (AGRI) Agriculture (AGRI) and pasture (PA). In January 2009, it was collected five alleatory points in each SUT to evaluate the presence of *Oligochaeta* at the 0-10 cm and 10-20 cm depths. It was accomplished by the removal of a square monolith with 50 cm of side at the same points considered to the physical samples and chemicals. In order to comparison, it was collected *Oligochaeta* at a depth of 0 to 10 cm using a square monolith of 50 cm. The results were computed by ANOVA, and difference between averages evaluated by Scott-Knott test. After, the data of abundance and biomass amount were subjected to a Principal Component Analysis (PCA) and the physical attributes were used as implicative variables. It was also computed the canonical correlation (CCA) between the biological attributes (abundance of earthworms and enchytraeids and total biomass), physical attributes (soil density, particle density, geometric mean diameter (DMG), penetration resistance (Rp), and macro microporosity, sand, silt and clay) and organic matter soil (Mos). The earthworm abundance and the biomass amount were major in BP and AGRO, considering the other SUT as reference. This behavior is observed along the time . The PCA showed that the PA and AGRO are high correlated with earthworm abundance and biomass amount. The physical attributes that were more significant to differ the SUT was, MOS, Rp, dmg and they demonstrated high correlation with the abundance of earthworm.

Keywords: Earthworms. PCA. CCA.

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira compreende uma área de 5.000.000 km<sup>2</sup>, abrangendo nove estados da Federação. O bioma Amazônia vem sofrendo grandes modificações em consequência da grande intervenção antrópica, como agricultura, mineração, construção civil e pecuária, todas com grande intensidade nos últimos anos. A necessidade de assegurar a diversidade biológica vem sendo alvo de muitos estudos, dando importância à utilização de sistemas conservadores do ambiente e dos recursos naturais. Vários estudos sobre a biodiversidade dos solos dos biomas brasileiros e, principalmente, da Amazônia são relatados por Moreira, Siqueira e Brussaard (2008), envolvendo desde microrganismos, como fungos, bactérias e nematoides, até macrorganismos, como minhocas, formigas e cupins.

A floresta amazônica é constantemente derrubada com uma variação de desflorestamento de 8 a 13 mil km<sup>2</sup> por ano, nos últimos dois anos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL - INPE, 2010). O índice de desmatamento na Amazônia atingiu 26.130 km<sup>2</sup>, entre 2003 e 2004, a segunda maior taxa desde 1995, quando foi registrado o recorde de 29.059 km<sup>2</sup> desmatados. No primeiro bimestre de 2010 foram desmatados 208 km<sup>2</sup> de floresta, segundo o INPE (2010), que faz o monitoramento do desmatamento via satélite pelo sistema Deter. Essa quantidade ficou bem abaixo da do ano anterior, que foi de 365 km<sup>2</sup>, com uma possível redução no desmatamento.

Um relatório chamado "Assessment of the Risk of Amazon Dieback", conduzido pelo Banco Mundial, avaliou o risco da floresta amazônica entrar em colapso, devido à conjunção de três fatores: desmatamento, mudanças climáticas e queimadas. Este mesmo relatório estima que, em 2025, cerca de 75% da floresta seriam perdidos e, em 2075, só restariam 5% de florestas no Leste da Amazônia (VERGARA et al., 2010). Na maioria das vezes, o desmatamento tem

como objetivo transformar estas áreas em pastagens para a criação de gado. A derrubada da floresta modifica profundamente o aporte de nutrientes e matéria orgânica no solo, assim como as propriedades físicas (DESJARDINS et al., 2004; FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; GRIMALDI et al., 1993; MCGRATH et al., 2001; MORAES; VOLKOFF; CERRI, 1996). Organismos do solo, como as *Oligochaetas*, são influenciados pela derrubada da mata e a consecutiva transformação em pastagens ou outros cultivos. Em alguns casos, a modificação pode levar a uma completa mudança do funcionamento do solo, já que as minhocas são consideradas indicadores de qualidade do solo (JAMES; BROWN, 2008; LAVELLE; SPAIN, 2001).

O importante conhecimento da biologia do solo é instrumento chave na manutenção da diversidade dos ecossistemas. As *Oligochaetas* são uma classe de organismos compostos por minhocas e enquitreídeos, que são de suma importância para o desenvolvimento do ciclo biológico e na alteração das propriedades físicas (BARROS et al., 2001; BOSSUYT; SIXB; HENDRIX, 2006; CAPOWIEZ et al., 2009; FONTE; WINSOME; SIX, 2009; RILEY et al., 2008) e químicas do solo (ALMEIDA et al., 2007; ALVES et al., 2008; JAMES; BROWN, 2008; KUCZAK et al., 2006; LANGENBACH et al., 2002; MAFRA et al., 2007).

Na região de Manaus, a invasão de minhocas da espécie *Pontoscolex corethrurus* em uma área onde ocorreu a conversão de floresta em pastagem, levou à formação de uma crosta compacta na superfície do solo, impedindo a entrada de água e ar o que, consecutivamente, levou à morte das plantas que estavam na cobertura. A principal causa da formação dessa crosta é a invasão de minhoca da espécie *P. corethrurus*, que acumulou seus coprólitos na superfície do solo, deixando o mesmo adensado (BARROS et al., 2004; CHAUVEL et al., 1999). A deposição de excrementos sobre a superfície do solo pode influenciar as características da superfície do mesmo, modificando sua textura pela ingestão

seletiva de partículas pelas minhocas (BERNARDES; KIEHL, 1995; NOOREN et al., 1995). Miklós (1992) observou a formação de uma estrutura grumosa, bem agregada, na camada superficial do solo e associou essa característica à deposição de coprólitos de minhocas, principalmente da espécie *P. corethrurus*. A distribuição dos agregados do solo em diferentes frações foi significativamente afetada pela ação das minhocas, aumentando de 5% para aproximadamente 38% a quantidade de partículas maiores que 2.000  $\mu\text{m}$  e diminuindo a quantidade de partículas entre 250-53  $\mu\text{m}$ , e de partículas orgânicas (SNYDER; BOOTS; HENDRIX, 2009).

A importância das *Oligochaetas* na transformação e na manutenção dos atributos físicos do solo é conhecida, uma vez que os bioporos, que são poros oriundos da atividade biológica, especialmente da flora e da fauna do solo (RINGROSE-VOASE, 1991), representam pequeno volume em relação ao volume total de poros, sendo altamente funcionais, pois reduzem a resistência do solo à penetração das raízes (GENRO JÚNIOR; REINERT; REICHERT, 2004). O monitoramento da distribuição das classes de poros e o estudo da permanência dos bioporos em áreas sob cultivo são de grande relevância, visto que a redução destes pode diminuir a condutividade hidráulica dos solos saturados (CURMI; KERTIZMAN; QUEIROZ NETO, 1994) e também causar uma queda da produção agrícola (MIEDEMA, 1997; VANDENBYGAART et al., 1999).

Um grande desafio é identificar qual atributo físico é influenciado pelas *Oligochaetas*, através de sua funcionalidade, alimentação via passagem do solo pelo trato intestinal, seus excretos e bioporos. Vários estudos de atividade de minhocas influenciando a taxa de infiltração de água no solo foram relatados no trabalho de Schrader et al. (1995). Estes autores também comentam que a maioria desses bioporos é produzida por minhocas anécicas da espécie *Lumbricus terrestris*. Neste mesmo trabalho, os autores acompanharam a produção diária de excretos de duas espécies de minhocas por um período de 30

dias e observaram que a espécie *Aporrectodea caliginosa* produz duas vezes mais coprólitos que *Aporrectodea longa*. Também comentam que esse alto volume de coprólitos produzidos pela *A. caliginosa* é de suma importância para a alimentação dos microrganismos e mistura dos resíduos orgânicos no solo, demonstrando, assim, o importante papel da *A. caliginosa* no solo (SCHRADER et al., 1995).

Observou-se que ainda são escassos os estudos na região amazônica do Alto Solimões, principalmente nos solos com o sistema de uso bem típico desta região, como a agricultura com derrubada e queima da mata “feita pelas comunidades locais” e as pastagens que substituem as florestas, criando um ambiente totalmente diferente do anterior e modificando, assim, a física, a química e a biologia do solo. Outra característica relevante dos solos desta região é a presença de argila expansiva com minerais 2:1 (esmectita) que criam uma situação particular principalmente nos atributos físicos do solo. Neste contexto, foram formuladas as seguintes hipóteses: a) as *Oligochaetas* são influenciadas pelos sistemas de uso da terra (SUT) e modificam seu comportamento no tempo e b) os atributos físicos e matéria orgânica do solo se correlacionam com a abundância e a biomassa de *Oligochaetas* e quais suas influências sobre os SUT.

O objetivo deste trabalho foi verificar se as *Oligochaetas* sofrem influência dos SUT e do tempo, e sua relação com os atributos físicos e matéria orgânica do solo na região do Alto Solimões, Amazônia Ocidental.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A área experimental fica no município de Benjamin Constant, no estado do Amazonas, Brasil, fazendo fronteira com o Peru e a Colômbia, entre as coordenadas 4°20' e 4°26' de latitude Sul e entre 69°36' e 70°2' de longitude Oeste, correspondendo a uma superfície descontínua de aproximadamente 54.000m<sup>2</sup>. A altitude é de, aproximadamente, 65 m em relação ao nível do mar.

Este estudo faz parte do projeto "Conservation and Sustainable Management of Below - Ground Biodiversity", denominado no Brasil de BiosBrasil e coordenado pelo "Tropical Soil Biology and Fertility Institute" (TSBF) do CIAT, financiado pelo "Global Environment Facility" (GEF), implementado pelo "United Nations Environment Programme (UNEP)" e executado em sete países: Brasil, Costa do Marfim, Índia, Indonésia, Kênia, México e Uganda. Seu objetivo é promover a conscientização, o conhecimento e a compreensão da biodiversidade do solo, sendo importante para a produção agrícola sustentável em paisagens tropicais, pela demonstração de métodos para a conservação e manejo sustentável.

### **2.1 Caracterização climática**

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido a superúmido (Af), sem estação seca, com temperatura média anual de 25,7°C, máxima de 40°C, mínima de 15°C e precipitação média anual de 2.562 mm. A precipitação total do mês mais seco é superior a 100 mm, com as maiores precipitações concentradas nos meses de dezembro a abril (COELHO et al., 2005).

## **2.2 Solo e relevo**

O relevo varia de plano, nas planícies aluviais e nos topos de morros curtos e alongados a suave a ondulado e forte ondulado nas demais posições da paisagem. O material geológico da área pertence à Formação Solimões, que é caracterizada por sedimentos terciários de origem flúvio-lacustre (COELHO et al., 2005).

O solo do local pode ser descrito, em sua maioria, como Cambissolo Háptico aluminico (CXA), de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). Os boletins de pesquisa e desenvolvimento números 67 e 68 descrevem detalhadamente cada perfil do solo nas diferentes janelas (COELHO et al., 2005). Uma característica importante que deve ser lembrada é que estes solos têm elevados teores de silte e alumínio extraível, bem como a sua constituição mineralógica, composta, predominantemente, de esmectita, vermiculita, esmectita com Al-hidróxi entre camadas e caulinita na fração argila e silte dos solos. Esmectitas são componentes frequentemente encontrados em solos pouco intemperizados da Amazônia (IRION, 1984; MÖLLER, 1986; SILVA, 1999).

## **2.3 Vegetação e uso da terra**

A vegetação da região é composta por Floresta Ombrófila Aberta Aluvial e Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (BRASIL, 1977).

A caracterização dos sistemas de uso da terra (SUT) nos pontos amostrais foi realizada por meio de um trabalho de campo, em que foram coletadas as informações das coordenadas geográficas, além de visualização das práticas culturais empregadas e do histórico do uso das áreas. A descrição

completa dos SUT pode ser encontrada no Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n<sup>o</sup> 71 (FIDALGO et al., 2005). Os SUT são: floresta primária (FP), floresta secundária em estágio avançado de regeneração (FSA), floresta secundária em estágio inicial de regeneração (FSI), sistemas agroflorestais (AGRO), agricultura (AGRI) e pastagem (PA).

## 2.4 Plano amostral

Foram selecionadas seis áreas, denominadas de janelas, conforme descrito por Huising et al. (2008) (Figura 1). Cada Janela tem, aproximadamente, 16 pontos amostrais equidistantes 100 m, formando um quadrado com quatro pontos em cada lado, proporcionando, assim, uma área amostral de 9.000 m<sup>2</sup> por janela. No entanto, a fim de garantir o máximo de representatividade ambiental (uso, cobertura do solo e condições edáficas), foram realizadas adaptações ao esquema de amostragem para cada janela, em alguns pontos estão espaçados de 50 m entre si. Na Tabela 1 são mostrados os pontos que foram utilizados em cada SUT para amostragem dos atributos físicos e biológicos, em 2008 e 2009, respectivamente.

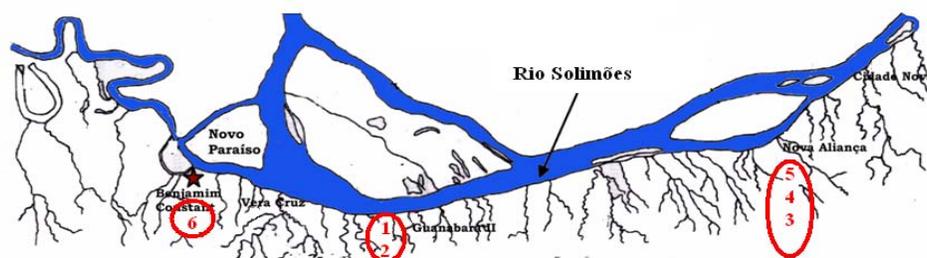


Figura 1 Localização das janelas na região do Alto Solimões, AM. Números 1, 2, 3, 4, 5 e 6, são a localização das janelas 1 e 2 na comunidade de Guanabara II; 3, 4 e 5 na comunidade de Nova Aliança e 6 no município de Benjamin Constant

Tabela 1 Sistemas de uso da terra, pontos amostrados, janelas e coordenadas médias. Coleta em 2008, para avaliação das propriedades físicas e em 2009, para os biológicos, Benjamin Constant, AM

SUT	Nº. dos pontos	Janelas	Coordenada média	
			Latitude	Longitude
<b>FP</b> <sup>1</sup>	3, 10, 11, 12 e 13	1	399307,64	9510442,31
<b>FSA</b> <sup>2</sup>	44, “70a, 71,79 e 80”	3 e 5	432750,71	9518755,00
<b>FSI</b> <sup>3</sup>	18, “36, 38,” “54 e 64”	2, 3 e 4	433162,98	9518792,95
<b>AGRO</b> <sup>4</sup>	17, “66, 67, 67a e 68”	2 e 5	432726,66	9518952,60
<b>AGRI</b> <sup>5</sup>	“19, 23”, “37, 39” e 49	2, 3 e 4	433431,32	9518278,24
<b>PA</b> <sup>6</sup>	82, 85, 86, 87 e 89	6	387122,42	9514384,36

<sup>1</sup>FP: Floresta primária, <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agrofloretais, <sup>5</sup>AGRI: Agricultura, <sup>6</sup>PA: Pastagem

#### 2.4.1 Amostragem das *Oligochaetas*

Em 2004 foi feita uma coleta de *Oligochaetas*, conforme descrito por Moraes et al. (2007), a qual foi usada somente a caráter comparativo, para observar se houve variação na abundância de minhocas com o passar os anos. Em janeiro de 2009, foram coletados cinco pontos por SUT nas diferentes janelas, sempre preservando coletar nos pontos onde foi amostrado o solo para as avaliações das propriedades físicas em 2008 e que se mantiveram os mesmos SUT em 2009. As *Oligochaetas* foram coletadas por meio de escavação do solo nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, em um monólito quadrado de 50 cm de lado. Todo solo foi triado e os organismos encontrados foram coletados e fixados em álcool 80% e conservados em formol a 4%. Após as *Oligochaetas*, foram transportadas até o Laboratório de Microbiologia do Solo da UFLA e foram contados e pesados, a fim de obter o número de indivíduos por metro quadrado (Ind. m<sup>-2</sup>) e a biomassa fresca (indivíduos secos em papel toalha e pesados em balança de precisão).

## 2.5 Atributos físicos

Em março de 2008, as amostras para avaliação dos atributos físicos foram coletadas nos mesmos pontos que as amostras biológicas (*Oligochaetas*), cinco pontos por SUT nas diferentes janelas, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. A textura do solo foi determinada pelo método do hidrômetro (BOUYOUCOS, 1951); densidade de partículas (Dp) foi determinada de acordo com Blake e Hartge (1986b); a densidade do solo (Ds) foi obtida por meio da utilização do método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986a) e a resistência à penetração (RP) foi determinada utilizando-se penetrômetro eletrônico. As amostras foram penetradas durante 12 segundos, gerando 12 valores de resistência à penetração por amostras. Destes, foram excluídos os dois primeiros e os dois últimos valores, pois estes podem sofrer uma interferência da superfície de penetração coletada e registrar valores fora do normal. Assim, restaram oito valores por ponto, calculando-se a repetência à penetração média de cada ponto. Os valores de RP, obtidos em kgf cm<sup>-2</sup>, foram multiplicados pelo fator 0,098 para a transformação em MPa, conforme Tormena, Silva e Libarde (1998). A distribuição dos agregados por tamanho foi realizada de acordo com Kemper e Chepil (1965). A porosidade total do solo (PT) foi obtida pela equação de Vomocil (1965) descrita abaixo:

$$PT = [1 - (Ds/Dp)] \times 100$$

em que Ds é a densidade do solo e Dp é a densidade de partículas.

A porosidade total é dividida em: porosidade não capilar ou macroporosidade (poros com diâmetro maior ou igual a 0,05 mm) e porosidade capilar ou microporosidade (poros com diâmetro menor que 0,05 mm).

A determinação da microporosidade foi obtida aplicando-se uma sucção de 6 KPa e calculada conforme a expressão:  $\text{Microcporos} = ((\text{peso do solo a } 6 \text{ kPa} - \text{peso do solo seco}) / \text{peso do solo seco})$ . A macroporosidade foi determinada por meio da equação:  $\text{Macroscporos} = (\text{PT} - \text{Microscporos})$ , conforme Grohmann (1972).

## 2.6 Atributos químicos e matéria orgânica do solo

Em março de 2008, foram coletadas cinco amostras de aproximadamente 500 g de solo em cada SUT, nos mesmos pontos de coleta das *Oligochaetas*, para avaliação dos atributos químicos e matéria orgânica do solo (Mos), nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Os atributos químicos do solo, como pH, teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) do solo, foram avaliados conforme métodos compilados no manual da EMBRAPA (1997). A Mos foi determinada pelo método de colorimetria, seguindo os procedimentos descritos por Cantarella, Quaggio e Rajj (2001).

## 2.7 Análise estatística

Os dados de  $\text{Ind.m}^{-2}$  e biomassa fresca obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e transformados quando necessário, conforme recomendação do programas SAS Learning Edition 2.0 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2004). As médias de abundância ( $\text{Ind.m}^{-2}$ ) e biomassa das *Oligochaetas* foram comparadas, pelo teste Scott-Knott, que considera a diferença mínima significativa a 5% de probabilidade, com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2000).

Depois, os dados de abundância e biomassa de *Oligochaetas* foram submetidos a uma análise de componentes principais (ACP) por meio do programa CANOCO 4.5 (BRAAK; SMILAUER, 1998). Após verificar o comprimento do gradiente que foi menor que três, optou-se pela ACP (BRAAK; SMILAUER, 1998). Em seguida, foram adicionados os atributos físicos (os quais foram adicionados como variáveis explicativas), a fim de observar qual atributo físico mais influenciou a variação dos atributos biológicos. Também foram feitas análises de correlação canônica (ACC) entre os atributos biológicos (abundância de minhocas e enquitreídeos e biomassa total) e os atributos físicos (Ds, Dp, Dmg, Rp, macro e microporosidade, areia, argila, silte e Mos). O objetivo de se fazer a ACC foi verificar a hipótese de que “existe relação entre a abundância e biomassa de *Oligochaetas* e as variáveis físicas e matéria orgânica do solo”.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 *Oligochaetas*

A abundância de minhocas e enquitreídeos por metro quadrado e a biomassa de *Oligochaetas* (minhocas mais e enquitreídeos) por metro quadrado, nas duas profundidades de coleta, são apresentadas na Tabela 2. Observou-se que as minhocas na profundidade de 0 a 10 cm, apresentaram maior número de indivíduos por metro quadrado (Ind.m<sup>-2</sup>) nos SUT PA (212 Ind.m<sup>-2</sup>) e AGRO (121 Ind.m<sup>-2</sup>), ambos diferentes estatisticamente dos demais SUT. Barros et al. (2004), estudando pastagens de *Brachiaria* spp. na região de Manaus, encontraram alta população de minhocas, com valores de 365 Ind.m<sup>-2</sup>. Estes autores relatam que, em quase a sua totalidade, estas minhocas eram da espécie exótica *Pontoscolex corethrurus*, encontrada nos estudos de Morais et al. (2007), nos mesmos SUT do presente estudo (Tabela 3). Em outro estudo na floresta amazônica no estado do Pará, Laossi et al. (2008) verificaram a influência de diferentes plantas de cobertura sobre a comunidade de organismos e observaram que onde havia pastagem de *Brachiaria brizantha* (planta usada em nosso estudo), a população de minhocas foi significativamente maior que os demais tipos de cobertura do solo (amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) e tabacon-aspero (*Solanum rugosum*)).

Na profundidade de 10 a 20 cm, o Ind.m<sup>-2</sup> e a biomassa, tanto de minhocas como de enquitreídeos, não apresentaram diferenças estatísticas entre os SUT (Tabela 2). A biomassa de minhocas na profundidade de 0 a 1 cm apresentou o maior valor no SUT PA (55 g m<sup>-2</sup>), deferindo estatisticamente dos demais. Barros et al. (2004) encontraram valores de biomassa de até 45 g m<sup>-2</sup>, valor menor que o encontrado no presente estudo. Fernandes (2009) encontrou os maiores valores de biomassa e abundância de minhocas em pastagens, quando

comparado com floresta secundária, plantio direto e convencional, na região de Londrina, PR, na coleta de agosto de 2007. Estes altos valores de abundância e biomassa encontrados em PA podem ser pela possível invasão e domínio de minhocas peregrinas e exóticas, como, por exemplo, *P. corethrurus*, que fazem com que as minhocas nativas desapareçam (FRAGOSO et al., 1997). Os enquitreídeos não apresentaram diferenças estatísticas em nenhuma das duas profundidades, tanto no número de Ind.m<sup>-2</sup> quanto na biomassa (Tabela 2).

Tabela 2 Abundância de minhocas, enquitreídeos e biomassa total encontrados em cada sistema de uso da terra, amostrados com monólitos de 50 x 50 cm, nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Janeiro de 2009, Benjamin Constant, AM

SUT	Mínhoca (Ind.m <sup>-2</sup> )		Biomassa de minhoca (g m <sup>-2</sup> )	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	0 a 10 cm	10 a 20 cm
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	16,0 b	1,6*	1,6 b	0,2 a
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	75,2 b	16,8	12,4 b	0,2 a
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	64,8 b	6,4	14,8 b	0,6 a
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	121,6 a	9,6	26,8 b	2,4 a
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	68,0 b	11,2	7,8 b	1,0 a
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	214,4 a	7,2	55,0 a	3,6 a
<b>CV</b>	48,38	71,50	48,20	43,75
SUT	Enquitreídeos (Ind.m <sup>-2</sup> )		Biomassa de enquitreídeos (g m <sup>-2</sup> )	
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	0 a 10 cm	10 a 20 cm
<b>FP</b> <sup>(1)</sup>	0*	0*	-	<sup>(7)</sup>
<b>FSA</b> <sup>(2)</sup>	10,4	12,0	-	-
<b>FSI</b> <sup>(3)</sup>	0	0	-	-
<b>AGRO</b> <sup>(4)</sup>	0	0	-	-
<b>AGRI</b> <sup>(5)</sup>	3,2	0	-	-
<b>PA</b> <sup>(6)</sup>	5,6	0	-	-
<b>CV</b>	103,48	101,33	-	-

<sup>1</sup>FP: Floresta primária; <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração; <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração; <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais; <sup>5</sup>AGRI: Agricultura; <sup>6</sup>PA: Pastagem. <sup>7</sup>Não analisado. Ind.m<sup>-2</sup>: Indivíduos por metro quadrado. Letras minúsculas na coluna não diferem, pelo teste de Scot-Knott, a 5% de significância, médias de cinco repetições. \*Não significativo

Comparando-se os valores de abundância encontrados na amostragem de Moraes, em, 2004, com os deste estudo, pode-se observar que FP e AGRI, em todos os anos e tamanhos de monólitos, apresentaram os menores valores de abundância e PA apresentou os maiores valores (Tabela 3). Isso mostra que, mesmo coletando com monólitos de tamanhos diferentes e em anos diferentes, o comportamento das *Oligochaetas* foi similar. Os únicos SUT que variaram entre os anos de coleta foi FSI, que demonstrou ter diminuído a abundância no ano de 2009 e AGRO, que apresentou valor menor quando coletado com os monólitos de 100x100x10 cm, em relação aos demais.

Observando-se a biomassa, constata-se que, novamente, o SUT PA apresentou os maiores valores, independente do ano e do tamanho dos monólitos, com exceção de AGRO, que não definiu de PA em 2004 e 2009, quando coletado com monólitos 50x50x20 cm. Comparando-se os tamanhos dos monólitos entre cada SUT, observa-se que, na FP, houve um aumento na biomassa no monólito de 100x100x10 cm, quando comparado com os demais, comportamento similar ao do FSI e PA (Tabela 3). Isso nos dá um indicativo de que monólitos maiores podem gerar uma maior biomassa, concordando com os estudos de Baretta et al. (2007).

Tabela 3 Número total e biomassa de *Oligochaetas* coletadas em 2004, por Morais e coletada em 2009, por Alves, avaliando diferentes tamanhos de monólitos nos diferentes sistemas de uso da terra, Benjamin Constant, AM

<b>Indivíduos por metro quadrado (Ind.m<sup>-2</sup>)</b>				
-----Ano de coleta-----				
	2004	2009	2009	
-----Tamanho do monólito (cm)-----				
<b>SUT</b>	25 x 25 x 30	50 x 50 x 20	100 x 100 x 10	CV (%)
<b>FP<sup>(1)</sup></b>	95,16 Ba	22,00 Ba	7,00 Ca	51,70
<b>FSA<sup>(2)</sup></b>	116,57 Ba	140,00 Aa	54,33 Aa	32,05
<b>FSI<sup>(3)</sup></b>	265,23 Aa	42,00 Bb	68,33 Ab	41,28
<b>AGRO<sup>(4)</sup></b>	238,54 Aa	160,00 Aa	38,00 Bb	41,06
<b>AGRI<sup>(5)</sup></b>	154,67 Ba	52,00 Ba	46,33 Ba	50,49
<b>PA<sup>(6)</sup></b>	256,23 Aa	227,20 Aa	86,33 Aa	56,41
<b>CV (%)</b>	47,66	34,90	11,57	
<b>N<sup>o</sup></b>	94	25	18	
<b>Biomassa fresca (g m<sup>-2</sup>)</b>				
-----Ano de coleta-----				
	2004	2009	2009	
-----Tamanho do monólito (cm)-----				
<b>SUT</b>	25 x 25 x 30	50 x 50 x 20	100 x 100 x 10	CV (%)
<b>FP</b>	2,49 Bb	2,25 Bb	43,67 Ba	71,62
<b>FSA</b>	3,97 Ba	15,78 Ba	18,00 Ba	68,32
<b>FSI</b>	8,67 Bb	10,99 Bb	44,00 Ba	59,60
<b>AGRO</b>	15,49 Ab	36,01 Aa	52,33 Ba	43,05
<b>AGRI</b>	4,23 Ba	7,21 Ba	14,33 Ba	57,64
<b>PA</b>	36,06 Ab	58,74 Ab	176,33 Aa	54,84
<b>CV (%)</b>	84,03	45,85	25,95	
<b>N<sup>o</sup></b>	94	25	18	

<sup>1</sup>FP: Floresta primária; <sup>2</sup>FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração; <sup>3</sup>FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração; <sup>4</sup>AGRO: Sistemas agroflorestais; <sup>5</sup>AGRI: Agricultura; <sup>6</sup>PA: Pastagem. n<sup>o</sup>: número de pontos amostrais. CV: coeficiente de variação. Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha iguais não diferem, pelo teste de Scot-Knott, a 5% de significância

### 3.2 Análise de componentes principais (ACP)

A ACP para abundância e biomassa de *Oligochaetas* mostra que 39,7% da vulnerabilidade dos dados é explicada por meio da componente principal 1 (CP1) e 34,6% pela componente principal 2 (CP2). A CP1 e a CP2, juntas, explicaram 74,3% da variação dos SUT. A ACP1 indicou haver separação entre os SUT, tendo AGRO e PA apresentado maiores valores de abundância de minhocas e biomassa na camada de 0 a 10 cm, enquanto FSA e AGRI apresentam maiores valores de abundância de minhocas na camada de 10 a 20 cm. FSA está fortemente associada ao número de enquitreídeos na profundidade de 10 a 20 cm (Gráfico 1), sendo este SUT o único a apresentar enquitreídeos nesta profundidade (Tabela 2). Em trabalho na região de Londrina, PR, Fernandes (2009) encontrou grande associação entre enquitreídeos na floresta secundária, por meio da ACP, sendo este grupo considerado indicador de qualidade do ecossistema. A FP se isolou dos demais SUT e não apresentou associação com as *Oligochaetas*, por apresentar baixos valores de Ind.m<sup>-2</sup> e biomassa (Gráfico 1).

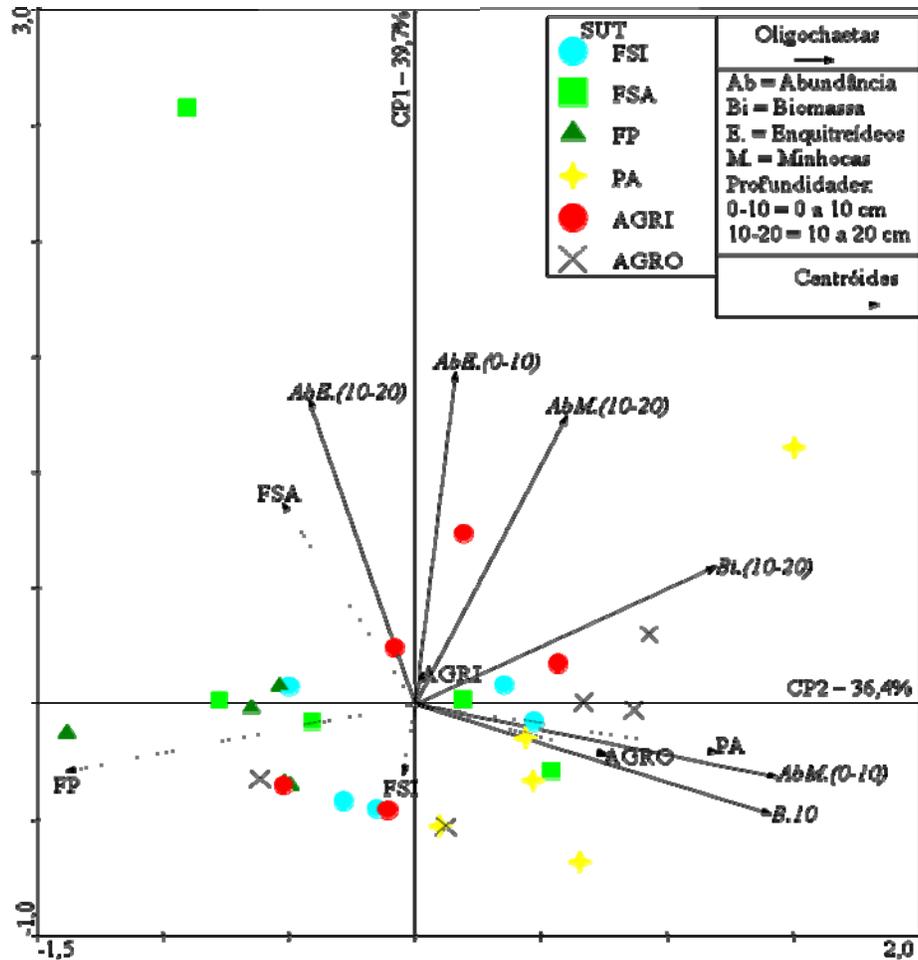


Gráfico 1 Resultado da relação entre as componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) da análise de componentes principais (ACP) para a abundância e a biomassa fresca ( $\text{g m}^{-2}$ ) das *Oligochaetas* nos seis sistemas de uso da terra. Amostragem de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. FP: Floresta primária, FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, AGRO: Sistemas agroflorestais, AGRI: Agricultura e PA: Pastagem, na região do alto Solimões (n=5)

A CP2 separa claramente PA e AGRO dos outros SUT, com grande associação com número de minhocas coletadas de 0 a 10 cm e biomassa de minhocas e enquitreídeos coletadas de 0 a 10 cm (Gráfico 1). Rousseau, Silva e Carvalho (2007), em estudo na Amazônia Oriental, encontraram valores semelhantes, em que a CP2 explicou 23,6% da variação e separou as pastagens (com queima ou trituração) e roça com trituração das capoeiras (de 20 e 40 anos) e roça com queima. Pastagem foi o uso que apresentou as maiores populações de minhocas, corroborando os resultados do presente estudo. A ACP confirmou o resultado da análise univariada que apresentou os maiores valores de abundância de minhocas coletadas de 0 a 10 cm, biomassa de minhocas e enquitreídeos coletados de 0 a 10 cm nos sistemas PA e AGRO (Tabela 2).

A fim de observar o quanto as variáveis físicas (amostradas na profundidade de 0 a 10 cm) auxiliam na explicação das modificações de abundância das *Oligochaetas*, foram incluídos estes atributos na ACP, tendo o CP1 explicado 36,7% e o CP2 explicado 20,4%. A CP3 e a CP4 explicaram menos do que 15,0% da variabilidade total e foram desconsideradas (Gráfico 2).

Na Gráfico 2, a CP1 separa os SUT AGRI e FSA dos demais, sendo AGRI associada, principalmente, pelos maiores valores de resistência à penetração ( $R_p$ ) e FSA pela maior densidade de partículas ( $D_p$ ). O CP2 separa os SUT AGRO, PA e AGRI dos demais, tendo AGRO e PA teores maiores de areia associados à biomassa e a minhocas. Já AGRI ficou fortemente associado com os atributos de Mos, densidade do solo ( $D_s$ ) e macroporosidade, ambos associados a enquitreídeos. Neste mesmo componente (CP2), o SUT FSA é fortemente associado ao diâmetro médio geométrico (DMG) e os SUT FSI e FP mais associados à microporosidade (Gráfico 2).

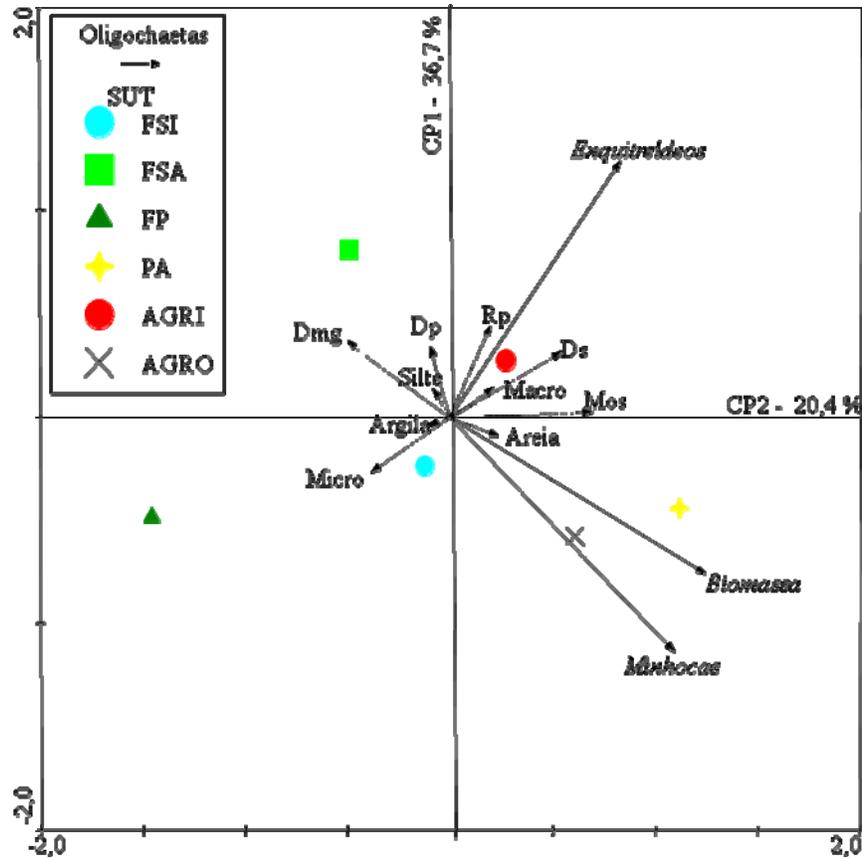


Gráfico 2 Resultado da relação entre as componentes principais 1 e 2 (CP1 e CP2) da análise de componentes principais (ACP) para a abundância e a biomassa frescas das *Oligochaetas* e atributos físicos do solo nos seis SUT na profundidade de 0 a 10 cm. FP: Floresta primária; FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração; FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração; AGRO: Sistemas agroflorestais; AGRI: Agricultura; PA: Pastagem; Mos: Matéria orgânica do solo; Macro: Macroporosidade; Ds: Densidade do solo; Rp: Resistência à penetração; Dp: Densidade de partículas; Dmg: Diâmetro médio Geométrico; Micro: Microporosidade

Como observado na CP1, a abundância de enquitreídeos (*Enchytraeidae*) foi diferente entre as profundidades e, na CP2, a abundância e a biomassa de minhocas também foram diferenciadas entre as profundidades (Gráfico 1), assim se optou por tratar cada profundidade separada. Quanto adicionadas as variáveis físicas na ACP, avaliadas na profundidade de 10 a 20 cm, nota-se que CP1 explica 32,4% e a CP2 explica 30,3%, totalizando 62,7% (Gráfico 3).

A CP1 separa os AGRO e FSA dos demais SUT, sendo AGRO fortemente correlacionado com o teor de argila, FSA com a resistência à penetração, ambos associados à biomassa e à abundância de minhocas e enquitreídeos (Gráfico 3). Por outro lado, FSI está correlacionada com Dp e areia, PA e AGRO com macro e microporosidade e FP ficou isolado de todos os atributos do solo. A CP2 separa AGRO, PA e AGRI dos demais SUT, sendo AGRO e PA com maiores associações à macroporosidade, AGRI com o teor de Mos e argila, ambas associadas com minhocas. O SUT FSA é associado às maiores Ds e teores de silte, ambos com enquitreídeos (Gráfico 3).

Os oligoquetos edáficos são denominados “engenheiros do ecossistema”, pois suas atividades levam à criação de estruturas biogênicas e, por meio das suas ações mecânicas no solo, contribuem para a formação de agregados estáveis, que podem proteger parte da matéria orgânica de uma mineralização rápida e constituem, também, uma reserva de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas (LAVELLE; SPAIN, 2001).

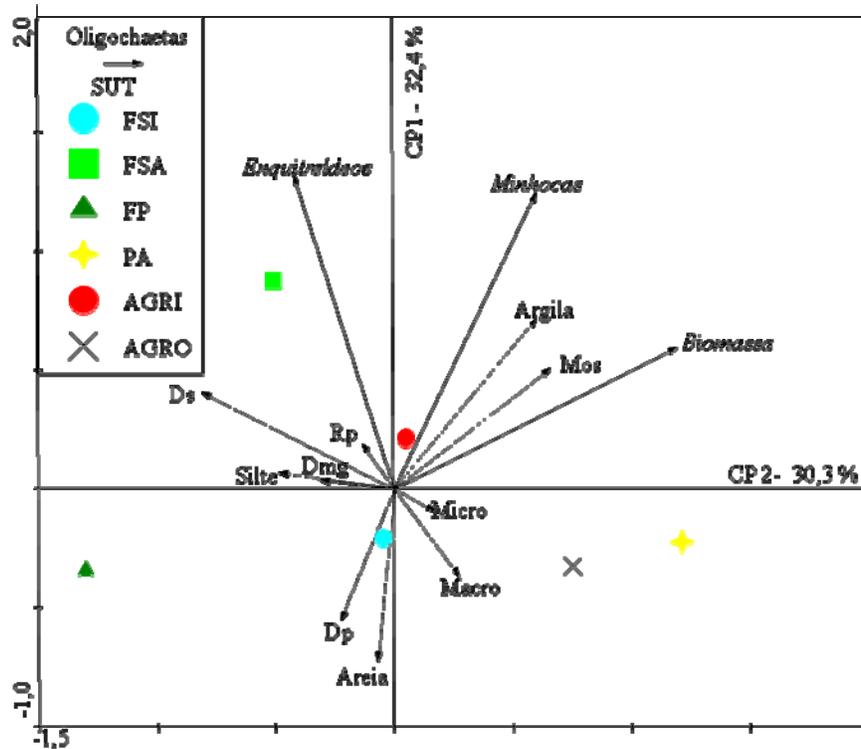


Gráfico 3 Resultado da relação entre as componentes principais 1 e 2 (CP1 e CP2) da análise de componentes principais (ACP) para a abundância e a biomassa frescas das *Oligochaetas* e atributos físicos do solo nos seis SUT na profundidade de 10 a 20 m. FP: Floresta primária, FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração, FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração, AGRO: Sistemas agroflorestais, AGRI: Agricultura, PA: Pastagem. Mos: Matéria orgânica do solo; Macro: Macroporosidade; Ds: Densidade do solo; Rp: Resistência à penetração; Dp: Densidade de partículas; Dmg: Diâmetro médio Geométrico; Micro: Microporosidade (n= 5)

### **3.3 Análise de correlação canônica (ACC) entre a abundância e a biomassa de *Oligochaeta* e os atributos físicos do solo**

A ACC indica qual(is) o(s) atributo(s) que mais se correlaciona(ram), demonstrando, com isso, qual o atributo físico mais influenciou os biológicos e que mais discriminou os SUT.

Na profundidade de 0 a 10 cm, foram estudadas três correlações canônicas entre os atributos biológicos (abundância de minhocas, abundância de enquitreídeos e biomassa total) e físicos do solo (Dp, Ds, argila, areia, silte, Rp, DMG, Mos, macro e microporosidade). O que limitou a só três correlações foram os atributos biológicos. A primeira correlação canônica (CC1) explica 54,4% ( $p < 0,043$ ) e a segunda (CC2) explica 26,6% ( $p < 0,120$ ), portanto, não significativa. Dos 54,4% explicados na CC1, 30,8% desta variação dos atributos biológicos é explicada pelos escores da primeira variável canônica dos atributos físicos (Figura 5). Na CC1, a Mos foi o atributo que mais se correlacionou com a abundância de enquitreídeos.

Estudos indicam que pastagens cultivadas continuamente apresentam grande densidade de raízes em constante renovação e liberação de exsudados radiculares, conseqüentemente, maior disponibilidade de matéria orgânica no solo (SILVA et al., 2006). Esses aspectos favorecem as condições para o desenvolvimento e o estabelecimento dos oligoquetos edáficos (CHAN, 2001).

As variáveis canônicas físicas 1 (VCCF1) que apresentaram valores positivos para os coeficientes canônicos padronizados (CCP) e correlação canônica (CC) foram: Mos, Rp, DMG, Ds e Dp (Tabela 3). O sinal positivo do CCP indica que o atributo físico tem alto potencial para discriminação das áreas (BARETTA et al., 2008) e está diretamente correlacionado com os atributos biológicos. O sinal negativo indica que o atributo pode ser considerado supressor, por possuir valores semelhantes nos SUT (Tabela 3).

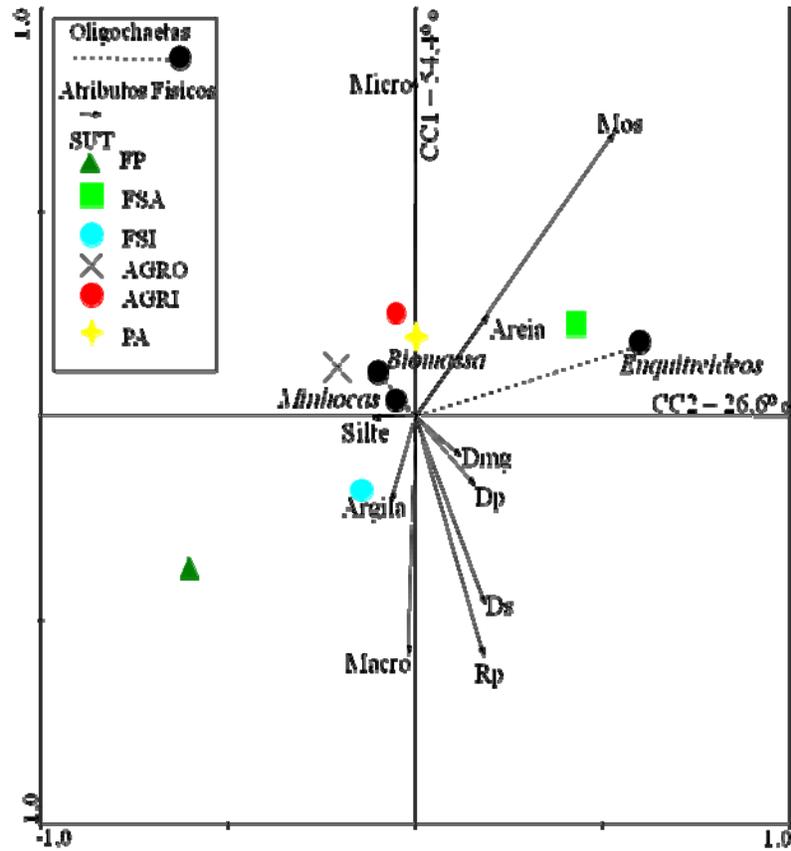


Gráfico 4 Resultado das correlações canônicas 1 (CC1) e 2 (CC2) da análise de correlação canônica (ACC) para a abundância e biomassa frescas das *Oligochaetas* com os atributos físicos do solo nos seis SUT na profundidade de 0 a 10 cm. FP: Floresta primária; FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração; FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração; AGRO: Sistemas agroflorestais; AGRI: Agricultura; PA: Pastagem. Mos: Matéria orgânica do solo; Macro: Macroporosidade; Ds: Densidade do solo; Rp: Resistência a penetração; Dp: Densidade de partículas; Dmg: Diâmetro médio geométrico; Micro: Microporosidade

Tabela 3 Coeficientes canônicos padronizados (CCP), correlação canônica (CC) quanto aos atributos das variáveis canônicas físicas (VCCF1), número de variáveis (N<sup>o</sup> Var.), valor Lambda 1 (Lam1) e significância dos atributos físicos, independentemente do SUT, na profundidade de 0 a 10 cm (n=5)

Atributos	CCP	CC	N <sup>o</sup> .		
			Var.	Lam1	P<F
Matéria orgânica do solo (Mos)	1,1017	0,5286	12	0,35	0,016
Resistência à penetração (Rp)	0,8819	0,1812	10	0,13	0,034
Diâmetro médio geométrico (DMG)	0,6850	0,1192	11	0,21	0,040
Densidade do solo (Ds)	0,5349	0,1846	4	0,09	0,200
Densidade de partículas (Dp)	0,3025	0,1571	2	0,08	0,368
Macroporos (Macro)	-0,0001	-0,0181	8	0,06	0,820
Silte	-0,0001	-0,1143	5	0,04	0,694
Areia	-0,1946	0,1917	4	0,05	0,480
Argila	-0,1053	-0,0646	3	0,00	0,842
Microporos (Micro)	-0,4146	-0,0026	7	0,02	0,280

Os valores de Lambda 1 obtidos para cada atributo físico indicam qual é o atributo que mais explica a variabilidade e quanto maior a discrepância entre os valores de Lambda 1, mais correlacionados estes estão. Assim, quando o valor for zero, não existe correlação com os atributos biológicos. Na Tabela 3 observa-se que Mos, DMG e Rp são os atributos que melhor explicam a variabilidade e mais se correlacionaram com os atributos biológicos. Em contraste, argila não apresentou correlação e tem baixo poder de discriminar os SUT. Silva et al. (2006) observaram correlação positiva ( $r = 0,72$ ;  $P < 0,05$ ) entre o conteúdo de matéria orgânica do solo e a densidade de enquitreídeos, confirmando a importância da matéria orgânica como fonte de alimento para estes organismos.

Na profundidade de 10 a 20 cm, a CC1 explica 49,1% ( $p < 0,023$ ) e a CC2 explica 33,3% ( $p < 0,090$ ), portanto, não significativa. Dos 49,1% explicados na CC1, 42,5% desta variação dos atributos biológicos são explicados pelos escores da primeira variável canônica dos atributos físicos

(Gráfico 5). Na CC1, os atributos Ds, Argila e Silte separaram-se dos demais e ficaram mais associadas com abundância de minhocas e biomassa. Na CC2, os atributos Ds, Argila, Mos, DMG, Micro e Rp se separam dos demais e estão correlacionados, principalmente, com abundância de enquitreídeos (Gráfico 5).

Os trabalhos de Barros et al. (2003) e Uribe-López, Fragoso e Molina-Enriquez (2003) enfatizam a necessidade de mais pesquisas nessas áreas amazônicas, já que sistemas agrofloretais constituem uma forma de produção antropogênica mais complexa (aproximando-se mais de formas naturais, como a floresta) e em contraponto às condições encontradas em campos cultivados com pastagens. Nessas condições, em estudos como os apresentados em Lavelle, Brussard e Hendrix (1999) demonstra-se que os organismos edáficos podem melhorar a densidade, a decomposição da matéria orgânica e a estabilidade do solo.

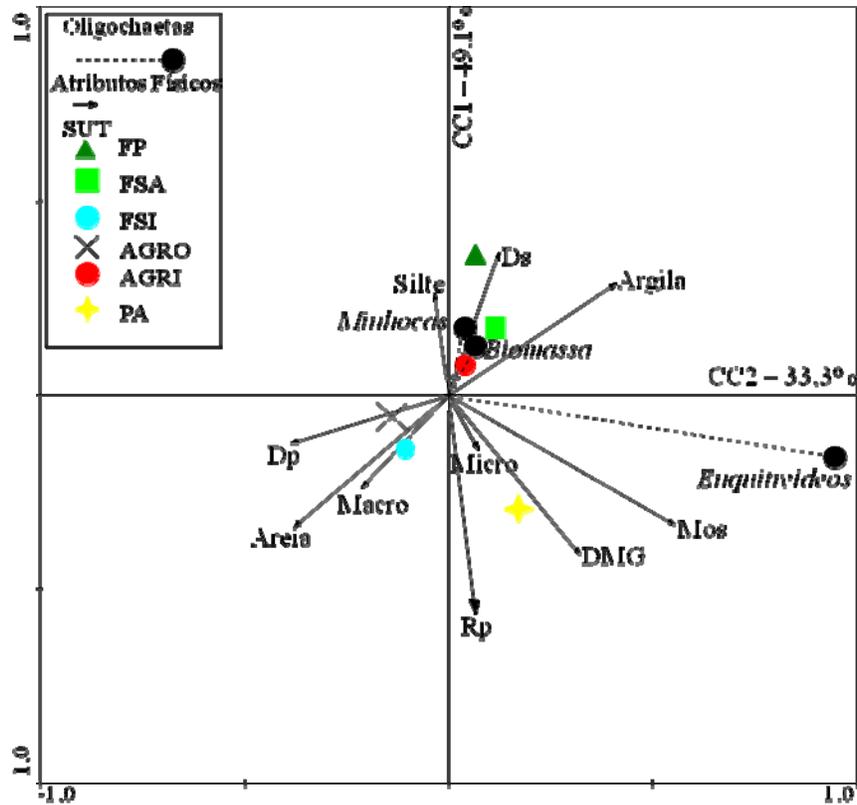


Gráfico 5 Resultado das correlações canônicas 1 e 2 (CC1 e CC2) da análise de correlação canônica (ACC) para abundância e biomassa frescas das *Oligochaetas* com os atributos físicos do solo nos seis SUT na profundidade de 10 a 20 cm. FP: Floresta primária; FSA: Floresta secundária em estágio avançado de regeneração; FSI: Floresta secundária em estágio inicial de regeneração; AGRO: Sistemas agroflorestais; AGRI: Agricultura; PA: Pastagem. Mos: Matéria orgânica do solo; Macro: Macroporosidade; Ds: Densidade do solo; Rp: Resistência à penetração; Dp: Densidade de partículas; Dmg: Diâmetro médio geométrico; Micro: Microporosidade

Tabela 4 Coeficientes canônicos padronizados (CCP), correlação canônica (CC) quanto aos atributos das variáveis canônicas físicas (VCCF1), número de variáveis (Nº. Var.), valor Lambda 1 (Lam1) e significância dos atributos físicos, independentemente do SUT, na profundidade de 10 a 20 cm (n=5)

Atributos	CCP	CC	Nº. Var.	Lam1	P<F
Matéria orgânica do solo (Mos)	0,8174	0,4419	12	0,33	0,046
Argila	0,2573	0,4014	3	0,21	0,022
Diâmetro médio geométrico (DMG)	0,3329	0,2223	11	0,19	0,048
Densidade do solo (Ds)	0,9003	0,2040	4	0,17	0,043
Resistência à penetração (Rp)	0,2843	0,1585	9	0,13	0,038
Macroporos (Macro)	0,7694	-0,2022	8	0,03	0,680
Microporos (Micro)	0,7888	0,0172	7	0,03	0,088
Silte	0,1742	0,0096	5	0,03	0,540
Densidade de partículas (Dp)	-0,1252	-0,3562	2	0,02	0,520
Areia	-0,4341	-0,3915	4	0,02	0,162

Na Tabela 4 observam-se os valores da variável canônica física 1 (VCCF1), que apresentou valores positivos para os coeficientes canônicos padronizados (CCP) e correlação canônica (CC) para os atributos: Ds, Mos, microporos, Dmg, Rp, Argila e Silte e valores negativos para densidade de partículas e areia. Os atributos que mais auxiliaram foram Mos e Ds, com os maiores valores de CCP e CC (0,8174, 0,9003 e 0,4419, 0,2040, respectivamente). O alto valor de CCP para microporos indica que esse atributo tem alta capacidade de discriminar os SUT; em contrapartida, o baixo valor de CC indica que ele tem baixa correlação com os atributos biológicos (Tabela 4).

Os valores de Lambda 1 na Tabela 4, referentes à profundidade de 10 a 20 cm, indicam que os atributos Mos, Argila, Dmg, Ds e Rp são significativos e têm alta capacidade de discriminar os SUT e de se correlacionar com as variáveis biológicas. Um estudo avaliando o efeito de minhocas sobre a dinâmica da Mos e a agregação do solo demonstrou que, após cinco meses da adição de minhocas espécie *P. corethrurus*, o solo com minhocas tinha

significativamente menor concentração de carbono e maior proporção de macroagregados estáveis em água (>2000 mm) do que aqueles sem minhocas (COQ et al., 2007). Isso demonstra que as minhocas auxiliam diretamente na agregação do solo, sendo este um bom atributo a ser correlacionado com sua presença. Este mesmo estudo mostra que o solo onde havia minhoca apresentou maior mineralização da Mos, quando comparado com o solo sem minhocas.

Outro estudo, com duas espécies de minhocas (*Aporrectodea caliginosa* e *Porcellio scaber*), após quatro meses de incubação, demonstrou o efeito das espécies no tamanho dos agregados. Seus autores constataram que *A. caliginosa* desempenhou papel importante na formação de agregados grandes (>2 mm), enquanto *P. scaber* foi influenciada pela presença de *A. caliginosa*, a qual desapareceu do local (LORANGER-MERCIRIS; LAOSSI; REVERSAT, 2008). Estes resultados comprovam que a espécie *A. caliginosa* é altamente influenciada pelos atributos físicos do solo e influencia na presença de outras espécies de minhocas.

O atributo físico densidade do solo foi correlacionado em muitos estudos com organismos do edáficos, mas, frequentemente, os resultados não têm demonstrado seu efeito (BEYLICH et al., 2010). Para Langmaack, Rohrig e Schrader (1996), a densidade do solo não é um parâmetro adequado para explicar os efeitos da compactação sobre os organismos do solo. Outro atributo que pode ser mais significativo é o volume de macroporos, porém, raramente foi estudado. Dessa forma, observa-se que mais estudos envolvendo atributos físicos e suas correlações com organismos edáficos devem ser conduzidos, para definir a importância deles na estrutura do solo.

#### **4 CONCLUSÃO**

Maiores abundância e biomassa de minhocas foram encontradas na PA e AGRO, em comparação aos outros SUT, mantendo o comportamento nos SUT com o passar dos anos, certamente pela presença de minhocas exóticas da espécie *Pontoscolex corethrurus*, a qual é considerada invasora.

A análise de componentes principais demonstrou que PA e AGRO estão fortemente correlacionadas com a abundância de minhocas e biomassa na profundidade de 0 a 10 cm e os enquitreídeos foram mais correlacionados com FSA na profundidade de 10 a 20 cm.

Os atributos físicos que mais auxiliaram na separação dos SUT foram Mos, Rp, DMG, que demonstraram alta correlação com a abundância de minhocas, podendo ser considerados eficientes como auxiliares na avaliação da qualidade física e biológica do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. et al. Propriedades químicas e fauna do solo influenciadas pela calagem em sistema semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1462-1465, nov./dez. 2007.
- ALVES, M. V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 589-598, maio/jun. 2008.
- BARETTA, D. et al. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2683-2691, 2008. Número Especial.
- \_\_\_\_\_. Earthworm populations sampled using collection methods in Atlantic Forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 384-392, 2007.
- BARROS, E. et al. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazônia. **Pedobiologia**, Oxford, v. 41, n. 3, p. 273-280, July 2003.
- \_\_\_\_\_. Role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, Amsterdam, v. 100, n. 1, p. 193-213, Jan. 2001.
- \_\_\_\_\_. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 157-168, Feb. 2004.
- BERNARDES, F. F.; KIEHL, J. C. Comportamento de oito espécies de minhocas com potencial de utilização agrônômica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1995. p. 454-456.
- BEYLICH, A. et al. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, n. 2, p. 133-143, Aug. 2010.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society Agronomy, 1986a. p. 363-375. (Agronomy Monograph, 9).

\_\_\_\_\_. Particle density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society Agronomy, 1986b. p. 377-382. (Agronomy Monograph, 9).

BOSSUYT, H.; SIXB, T. J.; HENDRIX, P. F. Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. **Geoderma**, Amsterdam, v. 130, n. 1, p. 14-25, Jan. 2006.

BOUYOUCOS, G. J. A recalibration of the hydrometer method for making analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, n. 9, p. 433-437, 1951.

BRAAK, C. J. F.; SMILAUER, P. **Canoco reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination**. Version 4. New York: Microcomputer Power, 1998. Software.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Radambrasil: Juruá, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1977. 436 p. (Levantamento de Recursos Minerais, 15).

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: UNICAMP, 2001. p. 173-180.

CAPOWIEZ, Y. et al. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 209-216, Feb. 2009.

CHAN, K. Y. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity: implications for functioning in soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 179-191, Feb. 2001.

CHAUVEL, A. et al. Pasture damage by an Amazonian earthworm. **Nature**, London, v. 398, n. 6675, p. 32-33, Mar. 1999.

COELHO, M. R. et al. **Solos das áreas-piloto do projeto GEF BIOS**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 158 p. (Boletim de Pesquisa, 67).

COQ, S. et al. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues: an experimental study. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 39, n. 8, p. 2119-2128, Aug. 2007.

CURMI, P.; KERTTZMAN, F. F.; QUEIROZ NETO, J. P. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation, Brazil. In: RINGROSE-VOASE, A. J.; HUMPHERYS, G. S. (Ed.). **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 596-579. (Developments in Soil Science, 22).

DESJARDINS, T. et al. Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, London, v. 103, n. 2, p. 365-373, Apr. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 306 p.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, n. 1, p. 147-166, Mar. 1998.

FERNANDES, J. de O. **Minhocas como indicadores ambientais em ecossistemas agrícolas**. 2009. 73 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

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

FIDALGO, E. C. C. et al. **Levantamento do uso e cobertura da terra de seis áreas amostrais relacionadas ao projeto BiosBrasil**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

FONTE, S. J.; WINSOME, T.; SIX, J. Earthworm populations in relation to soil organic matter dynamics and management in California tomato cropping systems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 206-214, Feb. 2009.

FRAGOSO, C. et al. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 17-35, Jan. 1997.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 477-484, jul./ago. 2004.

GRIMALDI, M. M. et al. Effet de la deforestation et des cultures sur la structure des sols argileux d'Amazonie brésilienne. **Cahiers Agricultures**, Madrid, v. 2, n. 1, p. 36-47, 1993.

GROHMANN, F. Porosidade. In: \_\_\_\_\_. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, 1972. p. 77-84.

HUISING, E. J. et al. Sampling strategy and design to evaluate below-ground biodiversity. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Ed.). **A handbook of tropical soil biology: sampling and characterization of below-ground biodiversity**. New York: Earthscan, 2008. p. 17-42.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 19 jul. 2010.

IRION, G. Clay minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. (Ed.). **The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Dordrecht: W. Junk, 1984. p. 537-579. (Monographiae Biologicae, 56).

JAMES, S. W.; BROWN, G. G. Ecologia e diversidade de minhocas no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. p. 193-276.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (Ed.). **Methods for soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

KUCZAK, C. N. et al. Inorganic and organic phosphorus pools in earthworm casts (Glossoscolecidae) and a Brazilian rainforest Oxisol. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 38, n. 3, p. 553-560, Sept. 2006.

LANGENBACH, T. et al. Influência da minhoca *Pontoscolex corethrurus* na distribuição do acaricida dicofol em um Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1663-1668, ago. 2002.

LANGMAACK, M.; RÖHRIG, R.; SCHRADER, S. Influence of soil tillage and soil compaction on terrestrial *Oligochaeta* (Enchytraeidae and *Lumbricidae*) of agricultural land. **Braunschweiger Naturkundliche Schriften**, Heidelberg, v. 5, n. 1, p. 105-123, 1996.

LAOSSI, K. R. et al. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. **Pedobiologia**, Oxford, v. 51, n. 5/6, p. 397-407, Dec. 2008.

LAURANCE, F. W.; ALBERNAZ, A. K. M.; COSTA, C. da. Is deforestation accelerating in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, Boston, v. 28, n. 2, p. 305-311, June 2001.

LAVELLE, P.; BRUSSARD, L.; HENDRIX, P. (Ed.). **Earthworm management in tropical agroecosystems**. Wallingford: CABI, 1999. 300 p.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 654 p.

LORANGER-MERCIRIS, G.; LAOSSI, K. R.; REVERSAT, F. B. Soil aggregation in a laboratory experiment: interactions between earthworms, woodlice and litter palatability. **Pedobiologia**, Oxford, v. 51, n. 5/6, p. 439-443, Dec. 2008.

MAFRA, A. L. et al. Ação das minhocas na estrutura e composição química de um solo arenoso hidromórfico do Amazonas. In: BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. **Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia**. Londrina: EMBRAPA, 2007. v. 1, p. 407-419.

MCGRATH, D. A. et al. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. **Ecosystems**, New York, v. 4, n. 4, p. 625-645, Oct. 2001.

MIEDEMA, R. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 59, n. 1, p. 119-169, Apr. 1997.

MIKLÓS, A. A. W. Biodynamics of the landscape: biopedological organization and functioning: part I, role and contribution of the soil fauna to the organization and dynamics of a pedological cover in Botucatu, state of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ORGANIC AGRICULTURE, A KEY TO A SOUND DEVELOPMENT AND A SUSTAINABLE SOCIETY, 9., 1992, Saint Wendel. **Proceedings...** Saint Wendel: IFOAM, 1992. p. 74-86.

MÖLLER, M. R. F. Mineralogia de argilas de solos da região Amazônica brasileira. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém. **Anais...** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. p. 214-223.

MORAES, J. F. L. et al. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 63-81, Jan. 1996.

MORAIS, J. W. de et al. Fauna de solo da região do Alto Rio Solimões: resultados do projeto. In: WORKSHOP PAN-AMAZÔNICO SOBRE BIODIVERSIDADE DO SOLO, 4., 2007, Rio Branco. **Resumos...** Rio Branco: CSM-BGBD/BiosBrasil, 2007. 1 CD-ROM.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. 768 p.

NOOREN, C. A. M. et al. The role of earthworms in the formation of sandy surface soils in a tropical forest in Ivory Coast. **Geoderma**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 135-148, Jan. 1995.

RILEY, H. et al. Soil structure, organic matter and earthworm activity in a comparison of cropping systems with contrasting tillage, rotations, fertilizer levels and manure use. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, London, v. 124, n. 2, p. 275-284, June 2008.

RINGROSE-VOASE, A. J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, n. 5, p. 777-813, Sept. 1991.

ROUSSEAU, G. X.; SILVA, P. R. S.; CARVALHO, C. J. R. Comunidades de minhocas, formigas e outros grupos da macrofauna do solo em sistemas de agricultura tradicional e sem fogo na amazônia oriental. In: WORKSHOP PAN-AMAZÔNICO SOBRE BIODIVERSIDADE DO SOLO, 4., 2007, Rio Branco. **Resumos...** Rio Branco: CSM-BGBD/BiosBrasil, 2007. 1 CD-ROM.

SCHRADER, S. et al. Earthworm effects on soil fabric with emphasis on soil stability and soil water movement. In: HARTGE, K. H.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil structure its development and function**. Boca Raton: CRC, 1995. p. 109-133.

SILVA, J. R. T. **Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato**. 1999. 117 p. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

SILVA, R. F. de et al. Populações de oligoquetos (Annelida: *Oligochaeta*) em um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de uso do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 673-677, mar./abr. 2006.

SNYDER, B. A.; BOOTS, B.; HENDRIX, P. F. Competition between invasive earthworms (*Amyntas corticis*, Megascolecidae) and native North American millipedes (*Pseudopolydesmus erasus*, Polydesmidae): effects on carbon cycling and soil structure. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 41, n. 9, p. 1442-1449, Sept. 2009.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS® learning**. Version 2.0. Cary, 2004. 1 CD-ROM.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 301-309, abr./jun. 1998.

URIBE-LÓPEZ, S.; FRAGOSO, C.; MOLINA-ENRIQUEZ, J. F. Comunidade de lombrices de tierra y propiedades físicoquímicas del suelo en cacaotales com distinto manejo en Tabasco, México. In: WORKSHOP SOBRE O USO DA MACROFAUNA EDÁFICA NA AGRICULTURA DO SÉCULO XXI: A IMPORTÂNCIA DOS ENGENHEIROS DO SOLO, 8., 2003, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA Soja, 2003. p. 148-159.

VANDENBYGAART, A. J. et al. Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to microscale in silt loam soils of southwestern Ontario. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 139-149, Jan. 1999.

VERGARA, W. et al. **Assessment of the risk of amazon dieback: climate change and clean energy initiative**. New York: The World Bank, 2010. 86 p.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 299-314.