

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MANEJO E CONSERVAÇÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS NO SEMIÁRIDO

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS E DA
MACROFAUNA EDÁFICA EM ÁREAS SUBMETIDAS A MANEJO
FLORESTAL DE VEGETAÇÃO NATIVA NA CHAPADA DO ARARIPE**

FORTALEZA – CE
2010

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS E DA
MACROFAUNA EDÁFICA EM ÁREAS SUBMETIDAS A MANEJO
FLORESTAL DE VEGETAÇÃO NATIVA NA CHAPADA DO ARARIPE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça - UFC

Co-orientador: Prof. Dr. José Valmir Feitosa - UFC

FORTALEZA – CE

2010

A687a Araújo, Adriana Oliveira

Avaliação de propriedades físicas dos solos e da macrofauna edáfica em áreas submetidas a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe / Adriana Oliveira Araújo, 2010.

76 f. ;il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça

Co-orientador: Prof. Dr. José Valmir Feitosa

Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.

1. Solos - Percolação. 2. Chapada do Araripe. 3. Florestas - Administração. I. Mendonça, Luiz Alberto Ribeiro (orient.). II. Feitosa, José Valmir (co-orient.) III. Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. IV. Título.

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS E DA MACROFAUNA
EDÁFICA EM ÁREAS SUBMETIDAS A MANEJO FLORESTAL DE VEGETAÇÃO
NATIVA NA CHAPADA DO ARARIPE

Esta Dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em Engenharia Agrícola – área de Concentração Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca de Ciências e Tecnologia da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida desde que feita de conformidade com as normas da ética científica.

APROVADA EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. rer. nat. Horst Frischkorn
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Manuel Antonio Navarro Vásquez
Faculdade de Tecnologia Centec – FATEC, Unidade Juazeiro do Norte

IN MEMÓRIA: Minha Mãe Doralice Oliveira Araújo, quem tão bem soube ensinar-me o valor da honestidade, humildade e sinceridade; ao meu marido José Roque da Silva Júnior e ao meu filho Juan Miguel, pelo apoio e incentivo em todos os momentos da vida.

DEDICO

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim.”

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela vida, saúde e coragem para enfrentar todos os desafios, obrigada por ter sempre colocado no meu caminho verdadeiros anjos.

À minha Mãe Doralice Oliveira Araújo: Você se faz presente pelo amor que nos uniu e que ultrapassa o tempo e o espaço. Você que me ensinou desde cedo a nunca desistir independente do obstáculo enfrentado.

Ao meu esposo José Roque da Silva Júnior, pelo companheirismo incondicional nos momentos mais difíceis desta etapa da minha vida; ao meu filho Juan Miguel que compreendeu até mesmo sem aceitar minha ausência; e a Geralda Bezerra por ter sido uma verdadeira mãe quando eu estive ausente.

À Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida à realização do curso.

Ao Professor Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça, em especial, pela atenção, paciência, confiança, respeito, estímulo, amizade, orientação e valiosos conhecimentos que despertaram em mim desde a época do CENTEC essa fome pelo “Conhecimento” obrigada por estar sempre presente.

Ao professor Dr. José Valmir Feitosa pelas longas horas disponibilizadas nas análises estáticas desta pesquisa.

A todo o corpo docente do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola em especial aos professores: Claudivan Feitosa de Lacerda; José Carlos de Araújo; Eunice Maia de Andrade; Luis de França Camboim Neto; Raimundo Nonato Távora Costa; Thales Vinícios de Araújo Viana; Renildo Luiz Mion e Albanise Barbosa Marinho pelos conhecimentos que contribuirão para o meu crescimento profissional e humano.

Aos que fazem o Instituto CENTEC - Unidade de Juazeiro do Norte, hoje FATEC CARIRI agradeço: ao diretor Prof. Raimundo de Sá Barreto pelo apoio à realização das pesquisas; ao funcionário Demontier, por ter construído a mesa de tensão, que foi de

suma importância para a conclusão deste trabalho; aos laboratoristas: Anniele dos Santos, Simone Batista, Rui Emmanuel e Michele Chaves e a professora Josislane Crispim, por ter cedido às dependências dos laboratórios nos finais de semana para realização de análises; aos professores Luciano de Andrade Gomes, Marcelo Mendes Pedroza, Manuel Antonio Navarro Vásquez, Roselene de Lucena Alcântara e Vicente Fechine Sobrinho, por toda estima; à professora Raimunda Moreira da Franca, que me incentivou e me valorizou profissionalmente com carinho e atenção; à professora Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima, minha eterna gratidão por ter estado ao meu lado nos momentos difíceis da minha jornada: como profissional absorvi um pouco do seu conhecimento, como amiga aprendi com você a lutar mais pelos meus sonhos e ser mais humana.

Ao Laboratório de Física do Solo no Departamento de Ciências do Solo, na pessoa de Francisco José da Silva (Franzé), por proporcionar uma ótima oportunidade de aprender a execução das análises realizadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

À professora Dra Marta Regina Kerntopf Mendonça, pelas valiosas sugestões, de quem sempre recebo direcionamento e conselhos pela convivência e laços de amizade adquiridos.

Aos alunos de Iniciação Científica Sanne Anderson de Moura Araújo e Antonio Alisson Fernandes Simplício, pelo companheirismo e preciosa ajuda para a realização das coletas das amostras.

Aos amigos de Mestrado: Eveline Salgado, Ana Paula, Antonia Leila, Edivam José, Olienaiide Ribeiro, Joseilson Oliveira, Andréia de Araújo, Bruno, André, Carmem Cristina, Carlos Alexandre, Cley Anderson, Yuri e Mário César.

Aos amigos Irmãos: Jorgiana Ferreira, Helba Araújo, Débora Barros, Luiz Alves, José Vidal, Hernandes de Oliveira, Francisco Lobato, Sávio Fontenele, Dirceu Duarte, Antonio Henrique, Aldênia, pela convivência e laços de amizade.

A todos os funcionários da UFC, principalmente Jacó, Aninha e Toinha, sempre solícitos na prestação de serviços.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de fomento à pesquisa.

À FUNCAP pelo apoio logístico através do projeto de pesquisa coordenado pelo prof. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça, no âmbito do Programa BPI.

À companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) na pessoa de Yarley Brito pelo apoio na obtenção da Unidade de Manejo Florestal.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) – Crato, na pessoa de Verônica Maria de Figueiredo Lima, pelo apoio necessário ao desenvolvimento da pesquisa e por sempre estar acessível.

Aos proprietários da Fazenda Pau d'árco e Bonfim, Everardo Gomes de Matos e Ronaldo Sampaio Gomes de Matos, que tão gentilmente cederam autorização das coletas na Unidade de Manejo Florestal para realização deste trabalho.

Ao senhor Edilson Lobo por nos conduzir de “mata à dentro” na coleta de amostra.

Enfim, a todos que contribuirão direta e indiretamente para minha formação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1. A legislação vigente e o manejo florestal.....	19
2.2. Matéria orgânica do solo.....	21
2.3. Macro e microporosidade.....	22
2.4. Capacidade de infiltração.....	24
2.5. Resistência do solo à penetração.....	27
2.6. Macrofauna edáfica.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. Descrição da área de estudo.....	31
3.1.1. Características climáticas.....	31
3.1.2. Vegetação e solo.....	31
3.2. Pontos de amostragens.....	32
3.3. Coleta de amostras de solos.....	33
3.4. Granulometria.....	34
3.5. Matéria orgânica via oxidação e calcinação.....	34
3.6. Umidade.....	35
3.7. Capacidade de infiltração.....	35
3.8. Resistência à penetração do solo.....	35
3.9. Macro e microporosidade.....	36
3.10. Macrofauna edáfica.....	37
3.11. Análise estatística.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. Granulometria.....	40
4.2. Matéria orgânica do solo.....	40
4.2.1. Ordenação de grupos de solos de perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante	43

4.3. Umidade.....	45
4.4. Capacidade de infiltração.....	47
4.5. Resistência à penetração do solo.....	50
4.6. Macro e microporosidade.....	52
4.7. Macrofauna edáfica.....	55
5. CONCLUSÕES.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de infiltração x tempo.....	25
Figura 2 - Área de estudo.....	32
Figura 3 - Agitador elétrico stirrer.....	34
Figura 4 - Amostras em cilindros de sedimentação.....	34
Figura 5 - Tambores de 200 L com água utilizada nos testes de infiltração.....	35
Figura 6 - Teste de infiltração.....	35
Figura 7 - Penetrômetro de impacto modelo Stolf.....	36
Figura 8 - Mesa de tensão de sucção de 60 cm de coluna d'água.....	37
Figura 9 - Amostrador de solos utilizado na coleta da macrofauna edáfica.....	38
Figura 10 - Triagem dos indivíduos da macrofauna edáfica.....	38
Figura 11 - Correlação linear entre os teores de matéria orgânica do solo obtidos pelos métodos da calcinação e da oxidação.....	42
Figura 12 - Amostras de solos da área de floresta antes e após calcinação a 550°C..	43
Figura 13 - Médias e erro padrão amostral da matéria orgânica, por grupo, ordenadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.....	44
Figura 14 - Regressão linear entre médias de matéria orgânica e de umidade dos 60 cm de solo, nos períodos seco e chuvoso, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009).....	47
Figura 15 - Regressão linear entre as médias de capacidade de infiltração final e de matéria orgânica dos primeiros 20 cm de solo, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009).....	49
Figura 16 - Variação da resistência à penetração com a profundidade do solo.....	52
Figura 17 - Densidade da macrofauna edáfica por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, no perfil de 30 cm, nos períodos seco e chuvoso.....	57
Figura 18 - Densidade de indivíduos, por profundidade e por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, nos períodos seco e chuvoso.....	58

Figura 19 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de matéria orgânica, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	59
Figura 20 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de umidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	59
Figura 21 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de capacidade de infiltração, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	60
Figura 22 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de resistência à penetração, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	60
Figura 23 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de macro e microporosidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	61
Figura 24 - Ordens taxonômicas da macrofauna edáfica identificadas no perfil de 30 cm de profundidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos amostrados georreferenciados.....	33
Tabela 2 - Granulometria das amostras dos solos coletadas nas áreas de floresta preservada e de manejo florestal.....	40
Tabela 3 - Teores de matéria orgânica por local de amostragem e por perfil de solo, obtidos pelos métodos da calcinação e da oxidação.....	41
Tabela 4 - Áreas ordenadas por grupo de matéria orgânica quantitativamente semelhante.....	44
Tabela 5 - Teores de umidade nos períodos chuvoso e seco, por local de amostragem e por perfil de solo.....	45
Tabela 6 - Médias, valores máximos e mínimos e coeficientes de variação da umidade nos períodos chuvoso e seco.....	46
Tabela 7 - Capacidades de infiltração final (fpc) por local de amostragem.....	47
Tabela 8 - Médias, valores máximos e mínimos e coeficientes de variação da capacidade de infiltração final (fpc) por grupo.....	48
Tabela 9 - Resistência à penetração (RP) dos solos por local de amostragem.....	50
Tabela 10 - Médias das resistências à penetração (RP) por profundidade e por grupo.....	50
Tabela 11 - Macro e microporosidade dos solos por local de amostragem.....	53
Tabela 12 - Valores médios da macroporosidade (MA) e microporosidade (MI) por profundidade e por grupo.....	53
Tabela 13 - Números de indivíduos da macrofauna edáfica identificados, no perfil de 30 cm, nos períodos chuvoso e seco, por local de amostragem.....	56

RESUMO

A antropização de florestas nativas causa desequilíbrios de ecossistemas, modificando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Dentre os efeitos encontra-se a redução da recarga de aquíferos. Na Chapada do Araripe ocorre redução de vazões de fontes que surgem na encosta, e o desmatamento com seus efeitos na estrutura do solo e na recarga dos aquíferos pode ser a causa. Na Chapada do Araripe existem planos de manejos florestais importantes para o desenvolvimento econômico regional; mas sem monitoramento podem provocar danos ao solo. Neste trabalho foram avaliados os parâmetros: teores de matéria orgânica e umidade do solo, capacidade de infiltração, resistência do solo à penetração, macro e microporosidade e densidade de indivíduos da macrofauna edáfica de uma unidade de manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe, comparando-os com os de uma área preservada. As amostras de solos coletadas foram ordenadas em três grupos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, sendo o de maior valor representativo da floresta preservada (Grupo 1) e os demais representativos das áreas manejadas (Grupos 2 e 3). Os talhões já explorados (Grupo 3) apresentaram menor teor de matéria orgânica que os talhões com exploração em andamento, os ainda não explorados e o da área de reserva legal (Grupo 2). O Grupo 1 apresentou maior teor de umidade e capacidade de infiltração. No período seco a umidade deste grupo foi superior à dos demais, mesmo no período chuvoso, indicando que o aporte de matéria orgânica conserva a umidade. A capacidade de infiltração no Grupo 1 apresentou menor variação, indicando solos de infiltração homogênea; no Grupo 2 apresentou valor intermediário, indicando solos em fase de recuperação, tendendo a homogeneidade da infiltração; e no Grupo 3 apresentou valor elevado, indicando solos com infiltração heterogênea. Na profundidade de 0 a 40 cm, os solos do Grupo 1 apresentaram menor resistência à penetração que os dos Grupos 2 e 3; mas na profundidade de 40 a 60 cm, não apresentaram diferença significativa, indicando fraca interferência das ações antrópicas neste perfil. A macroporosidade apresentou maior valor para o Grupo 1, mostrando que a quantidade elevada de matéria orgânica é associada com o aumento de macroporos, levando a uma redução da resistência à penetração e conseqüentemente, a um aumento da capacidade de filtração. A densidade de indivíduos da macrofauna edáfica no perfil de 0 a 30 cm de solos apresentou maior valor médio para o Grupo 1, intermediário, para o Grupo 2 e menor, para o Grupo 3. Verificou-se que as ações antrópicas na vegetação e no solo reduziram direta e indiretamente o teor de matéria orgânica, a densidade de indivíduos da macrofauna edáfica e a porosidade biológica, contribuindo com uma redução na infiltração de água.

Palavras chave: Capacidade de infiltração, Chapada do Araripe, Manejo florestal.

ABSTRACT

Anthropization of native forests causes imbalances of ecosystems, changing the physical, chemical and biological properties of soil. Among those imbalances, we can mention the reduction in groundwater recharge. Springs on the slope of the Araripe plateau show significant reduction in discharges, and deforestation, with its effects on soil structure and on the recharge to aquifers, may be the cause. For the Araripe plateau there are forest management plans aiming at regional economic development; but without monitoring those plans can cause soil damage. In this study we evaluated the following parameters of the soil macrofauna a forest management unit of native vegetation on the Araripe plateau and compared them to the parameters in a preserved area: levels of organic matter and soil moisture, infiltration capacity, soil resistance to penetration, macro and micro porosity and density of individuals of soil macrofauna. Soil samples collected were sorted into three groups of quantitatively similar organic matter, so that the group having the highest value represented preserved forest (Group 1) and the other groups represented managed areas (Groups 2 and 3). The plots already exploited (Group 3) presented lower organic matter content than those under exploitation, those not yet exploited and that of legal reserve area (Group 2). Group 1 presented a higher moisture content and infiltration capacity. Even in the dry period, the moisture of this group was higher than that of the others in the rainy season, indicating that the organic matter maintains moisture. The infiltration rate in Group 1 presented a lower coefficient of variation, indicating soils of homogeneous infiltration; Group 2 presented an intermediate infiltration variation, indicating soils under restoration and tending to uniformity of infiltration; and Group 3 showed a high level of infiltration rate variation, indicating soils with heterogeneous infiltration. In the 0 to 40 cm layer. Soils from Group 1 had a lower resistance to penetration than those from Groups 2 and 3. However, at depths from 40 to 60 cm, soils did not differ significantly, indicating a low influence of anthropogenic activity in this profile. The macroporosity presented a higher value for Group 1, indicating that the high amount of organic matter contributes to the increase in macropores, leading to a reduction in resistance to penetration and, as a result of that, to an increase in infiltration capacity. The density of individuals of the soil macrofauna in the upper 30 cm layer and soil presented the highest average value for Group 1, an intermediate value for group 2 and the lowest one for Group 3. We observed that the anthropogenic influences on vegetation and soil cause a direct and indirect reduction in the organic matter content, in density of individuals of the soil macrofauna and in biological porosity, contributing to a lower water infiltration rate.

Keywords: Capacity infiltration, Araripe plateau, Forest management.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas e manejos florestais em substituição às florestas nativas causam desequilíbrios de ecossistemas, modificando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A intensidade destas modificações varia com as condições edafoclimáticas, a natureza do solo e os usos e manejos adotados (CENTURION et al., 2001; CARVALHO et al., 2004; ARAÚJO et al., 2004; FIGUEIREDO, 2008).

Dentre as consequências encontra-se a redução da recarga de aquíferos. Segundo Goudie (1993), algum tempo após a derrubada de uma floresta, pode-se verificar a compactação e o endurecimento da superfície do solo, deixando-o desfavorável ao crescimento de plantas, acelerando o escoamento superficial e reduzindo a recarga. Estes efeitos do desmatamento sobre a recarga também foram observados por Kuczera (1987), Vertessy et al. (1995 e 2001) e Roberts et al. (2001), ao registrarem mudanças no fluxo de base de rios próximos a áreas que sofreram desmatamento.

Segundo Mendonça et al. (2009), o desmatamento com seus efeitos de alterações na estrutura do solo e na recarga dos aquíferos da Chapada do Araripe pode ser a causa da redução nas vazões de fontes que surgem na encosta. Este fenômeno foi identificado por Kemper et al. (1995), que verificaram através de dados históricos que a vazão da fonte da Batateira, situada no município do Crato, diminuiu de 1.490 m³/h, em 1854, para 376 m³/h, em 1993.

Estudos realizados por Mendonça (2001), mostraram que das áreas preservadas na Floresta Nacional do Araripe para as áreas desmatadas há um aumento na densidade aparente dos solos e uma redução na matéria orgânica, umidade, porosidade total e condutividade hidráulica. A alteração destes parâmetros leva à redução da capacidade de infiltração e a um possível esgotamento do solo com conseqüente empobrecimento florestal. Nesta mesma área, Leite et al. (1990) observaram uma redução na água disponível no solo das áreas desmatadas em comparação com áreas preservadas.

Considerando o teor de matéria orgânica como indicador de modificações na capacidade de infiltração, Mendonça et al. (2009) ordenaram solos amostrados em 21 localidades de diferentes formações florestais da Chapada em quatro grupos de matéria orgânica quantitativamente semelhantes, sendo o Grupo 1 representativo de áreas de

vegetação nativa preservada e os demais grupos representativos de áreas de vegetação antropizada. O teor de matéria orgânica apresentou boa correlação linear com a umidade e as capacidades de infiltrações inicial e final. O Grupo 1 apresentou maior umidade no período seco que os demais grupos mesmo no período chuvoso e uma capacidade de infiltração mais eficaz. O menor conteúdo de matéria orgânica, umidade e capacidade de infiltração do Grupo 4 refletiu uma maior modificação na estrutura do solo capaz de reduzir a recarga nestas áreas.

Na área da Chapada do Araripe, na à região do Cariri cearense, apesar da elevada pluviosidade, comparável a faixa costeira do Estado do Ceará, os recursos hídricos superficiais são escassos e os subterrâneos, muito profundos, com exceção de uma depressão topográfica conhecida como falha de Jardim. Esta escassez hídrica levou a uma baixa densidade populacional humana na área, facilitando a conservação de pelo menos uma parte da vegetação original na reserva da (FLONA), que corresponde a apenas 6% da área da Chapada, que é de 8000 km² (MENDONÇA et al., 2001 e 2009). Fora da área da FLONA há interferências antrópicas na vegetação e no solo através de atividades agrícolas (onde a prática de queimadas é uma constante), bovinicultura extensiva sazonal, produção de carvão vegetal clandestina e manejos florestais.

As modificações na qualidade do solo podem ser acompanhadas através do monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos. Dentre estes, têm sido recomendado os que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como densidade, macro e microporosidade, teores de matéria orgânica e umidade, capacidade de infiltração, resistência do solo a penetração e densidade de indivíduos da fauna edáfica (STONE et al., 2001; CARVALHO et al., 2004; ARAÚJO et al., 2004; OLIVEIRA, et al., 2004; SOUZA, et al., 2005; MENDONÇA et al., 2009). Estes parâmetros também podem ser utilizados como indicadores de susceptibilidade de perda produtiva e degradação ambiental (LAURINDO, 2006).

Neste trabalho objetiva-se avaliar propriedades físicas dos solos e a macrofauna edáfica em áreas submetidas a manejo florestal de vegetação nativa na Chapada do Araripe. Os parâmetros avaliados serão utilizados como indicadores de modificações na estrutura dos solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A legislação vigente e o manejo florestal

Segundo a Lei nº 9.985/2000 (BRASIL, 2000) que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), entende-se por:

- manejo, todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas;
- uso sustentável, a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável;
- plano de manejo, o documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade de conservação, se estabelece o zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade;
- reserva legal, a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas.

De acordo com a Lei 4.771/1965 do Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2001) é considerado bem de uso comum as florestas e, também, outras formas de vegetação, reconhecidas de utilidades para a terra que revestem. O Art. 16 da referida Lei limita o direito de propriedade (Art. 1º). Segundo o referido artigo, as áreas de reserva legal variam com a região e a vegetação: nas áreas de florestas na Amazônia Legal considera-se 80%; nas áreas de cerrado na Amazônia Legal, 35%; e nas demais áreas, 20%.

Segundo o Art. 12 da referida Lei, as florestas plantadas, não consideradas APPs (Áreas de preservação permanente), são livres para extração de lenha e demais produtos florestais ou para fabricação de carvão. Em outros tipos de florestas estas

ações dependerão de normas estabelecidas em ato do poder federal ou estadual, em obediência a prescrições ditadas pela técnica e às peculiaridades locais.

A exigência legal do Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) está prevista na Normativa 03/2001 do IBAMA e as necessidades técnica e jurídica dos PMFS, tendo em vista as disposições contidas na Lei 4.771/1965 do Código Florestal Brasileiro, são fixadas na Normativa 93/2006. Segundo o Art. 2º da Normativa 93/2006, os PMFS devem ser analisados e vistoriados, mediante procedimentos disciplinados em ato normativo do IBAMA, por Engenheiro Florestal ou por Engenheiro Agrônomo habilitados, lotados no IBAMA ou legalmente credenciados para tal fim. Segundo esta normativa o Manejo Florestal Sustentável (MFS) pode ser de duas categorias: uma para fins madeireiros e outra para uso múltiplo.

Entende-se por MFS para fins madeireiro, a exploração florestal com fins exclusivos de produção de lenha, estacas, mourões, toras para serraria e outros produtos madeireiros. Já o MFS para uso múltiplo, é a exploração florestal que visa à obtenção de produtos madeireiros e não madeireiros, combinada ou não com atividades agrícolas e/ou pastoris.

No monitoramento do PMFS são implantadas as seguintes etapas:

- fase pré-exploratória, quando são feitas as delimitações das Áreas de Produção Anual (UPA) e das Unidades de Trabalho (UT). Nesta fase são colocadas placas indicativas das UPAs e das UTs, são feitos um inventário florestal a 100% e o microzoneamento, além do corte de cipós e da infra estrutura das UTs;
- fase exploratória, quando são feitos os cortes das árvores relacionadas à exploração. O ciclo de corte adotado pelo IBAMA geralmente não é inferior a 10 anos. Inferior a este ciclo somente alguns casos específicos, desde que comprovados cientificamente. Havendo desistência e/ou abandono do PMFS antes do final do ciclo de corte pré-estabelecido, a área explorada deverá ser mantida em repouso, até que se complete o ciclo de corte estabelecido no PMFS.
- fase pós-exploratória, correspondente aos planos de educação dos funcionários, que correspondem a prevenção contra incêndio, a manutenção de infra-estrutura, tais como estradas e o monitoramento do desenvolvimento da floresta.

A autorização para exploração do PMFS tem validade de doze meses e é emitida após aprovação do plano de manejo, de acordo com o cronograma de execução apresentado, desde que não haja irregularidades.

Segundo o Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2009), na Chapada do Araripe,

a lenha é a principal fonte de energia para as empresas da região, porém 94% dela é extraída sem manejo. A chapada do Araripe concentra um dos maiores pólos produtores de gesso do país, com cerca de 100 indústrias. Juntas, elas consomem por ano 1,6 milhões de metros cúbicos de lenha. A região toda consome anualmente dois milhões de metros cúbicos de lenha, que também é usada como fonte de energia em casas de farinha, padarias, restaurantes e outros serviços.

Na Chapada do Araripe, dentre outros PMFS encontra-se o da Fazenda Pau D'arco e Bonfim, numa área aproximadamente 15 km², cuja madeira é utilizada para queima em fornos de uma indústria de cerâmica localizada no município do Crato. Este PMFS é do tipo madeireiro, no qual a retirada da vegetação faz-se tanto em escala comercial quanto de forma comunitária. Nesta área é feita a manutenção da reserva legal de vegetação nativa de aproximadamente 6 km² e o restante da propriedade é dividido em 11 talhões que são explorados individualmente em seqüência anual produzindo 120 m³ de madeira por hectare, com corte mantendo 30 centímetros das plantas para rebroto. A galhada que não serve é incorporada ao solo objetivando o equilíbrio biodinâmico.

2.2. Matéria orgânica do solo

O solo é constituído de porções e tipos variáveis de minerais, gases, água e matéria orgânica. Num sentido bem amplo, segundo Silva e Mendonça (2007), a matéria orgânica dos solos é a fração que compreende todos os organismos vivos e seus restos nos mais variados graus de decomposição. Entretanto, mais frequentemente, ela é considerada como a fração não vivente de plantas, animais e microrganismos, que contribui, em média, com aproximadamente 98% do carbono.

A matéria orgânica do solo é um constituinte cimentante, importante na formação e manutenção dos agregados, preservando a macro e microporosidade, a

umidade e a capacidade de infiltração, além de ser indispensável na bioestrutura e produtividade do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999 e CALOURO, 2005).

Baixas taxas de infiltração de água no solo ocorrem onde há redução dos macroporos, cuja estrutura é influenciada pela presença de matéria orgânica, haja visto que o aporte considerável de resíduos orgânicos no solo eleva a melhoria das condições físico-químicas do solo, proporcionando um ambiente adequado para as atividades dos microrganismos presentes no ecossistema, reduzindo expressivamente a compactação do mesmo (SCHNEIDER et al., 2003 e FIGUEIREDO et al., 2008).

Os solos sob floresta normalmente apresentam significativa macroporosidade, proporcionada por raízes mortas e cavidades de animais, os quais são importantes para facilitar a infiltração e a recarga dos aquíferos, sobretudo em solos argilosos, que de outra forma seriam pouco permeáveis (CHENG et al., 2002).

Como a capacidade de infiltração depende da umidade antecedente, da natureza e da estrutura do solo superficial, ela é afetada pelo tipo de vegetação e manejo, e concomitantemente, o tipo de vegetação e manejo afeta diretamente a dinâmica da matéria orgânica na área. Neste contexto, o teor de matéria orgânica dos solos pode ser utilizado como indicador de modificações na estrutura dos mesmos.

2.3. Macro e microporosidade

O entendimento e quantificação do impacto do uso e manejo do solo na estrutura física do mesmo são fundamentais no desenvolvimento de manejos sustentáveis (ARAÚJO et al., 2004). Atualmente são utilizados diferentes parâmetros na avaliação de alterações ocorridas na estrutura físicas do solo devido um dado processo de degradação. Dentre os parâmetros mais utilizados encontram-se: a resistência à penetração (TORMENA e ROLOFF, 1996; MARIA et al., 1999 e BEUTLER et al., 2001), a densidade (MARIA et al., 1999 e STONE e SILVEIRA, 2001) e a macro e microporosidade do solo (BEUTLER et al., 2001 e OLIVEIRA et al., 2001).

De acordo com Marques (2000), têm surgido vários conceitos no sentido de estabelecer um padrão para a classificação dos poros quanto ao tamanho, considerando a geometria e a configuração do espaço poroso. Nos solos, embora não exista uma nítida separação entre os poros, inúmeras classificações de diâmetros de poros são citadas na literatura. Uma das formas mais simples, é classificá-los em micro e macroporos. Os

microporos, também conhecidos como poros capilares, são os poros responsáveis pela retenção de água no solo, enquanto que os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979). Encontra-se no solo ainda a presença dos chamados bioporos, os quais correspondem às cavidades do solo originadas pela presença de minhocas, cupins, formigas e pelos espaços vazios gerados pela decomposição de raiz que, apesar de representar um pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e possuem a capacidade de reduzir à resistência do solo (KLEIN e LIBARDI, 2002). A porosidade total é a soma de todas estas frações de poros de um dado solo.

Na determinação da macro e microporosidade do solo podem ser utilizados diversos equipamentos: câmaras de pressão Richards com placa porosa, mesa de tensão, funil de placa porosa (Haines), etc.

Nestes equipamentos as amostras de solos indeformadas e saturadas são submetidas a uma tensão de sucção de 60 cm de coluna d'água durante um determinado tempo necessário para drenar o conteúdo de água dos macroporos. A água drenada das amostras saturadas corresponde em percentual do volume total aos macroporos e a retida aos microporos.

O solo ideal deve apresentar volume e dimensão de poros adequados para o movimento e retenção de água e ar, para atender as necessidades da vegetação.

O papel do espaço poroso na dinâmica da água no solo vem sendo objeto de estudo de vários pesquisadores. Segundo Vomocil (1965), Amaro Filho (1982) e Klein (1998), para se entender a dinâmica e o armazenamento de água no solo é mais importante o conhecimento da macro e microporosidade do que o conhecimento da porosidade total, pois esta fornece informações de importância limitada.

Segundo Sampaio et al. (2005), os atributos físicos que melhor se correlacionam com a capacidade de infiltração são: a macro e microporosidade, a resistência à penetração e a densidade do solo. Eles observaram que solos com elevado teor de macroporos apresentam maior capacidade de infiltração e menor resistência à penetração. Relações inversas foram observadas para solos com elevado teor de microporos.

Souza et al. (2004), comparando diversos agroecossistemas, concluíram que em sistemas de manejo do solo não mecanizados, que não apresentam modificações na macroporosidade, os valores de capacidade de infiltração de água são semelhantes aos de floresta nativa.

Neste contexto, Silva e Albuquerque (2005), observaram que a condutividade hidráulica saturada de camadas superficiais de solos submetidos a um sistema de preparo convencional apresentou valor elevado em relação aos solos não manejados. Esta elevação ocorreu após o revolvimento do solo manejado, que promoveu um aumento temporário de macroporos. Este aumento por sua vez favoreceu o fluxo de gases no solo garantindo a oxigenação radicular, o movimento e a redistribuição de água.

Em solos submetidos a manejo mecanizado há uma maior compactação com conseqüente aumento da microporosidade e densidade, e redução da macroporosidade e da capacidade de infiltração, deixando o solo vulnerável ao escoamento superficial e transporte de sedimentos.

2.4. Capacidade de infiltração

A infiltração é o processo de condução da água da superfície para o interior do solo, que depende fundamentalmente da umidade inicial, porosidade, textura e condutividade hidráulica do solo.

À medida que a água infiltra as camadas do solo vão umedecendo de cima para baixo, produzindo uma alteração gradativa no perfil de umidade. Este perfil de umidade evolui inversamente quando cessa a infiltração.

A quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo é a taxa de infiltração. A taxa máxima que um solo é capaz de absorver água, sob uma dada condição, é a capacidade de infiltração. Neste contexto, se uma precipitação atinge o solo com uma intensidade menor que a capacidade de infiltração, a água infiltra, caso contrário, parte infiltra numa taxa igual a capacidade de infiltração naquela condição e parte escoar superficialmente.

O processo de infiltração da água no solo pode ser descrito por diversas equações ou modelos, alguns desenvolvidos a partir de considerações físicas e outros de forma empírica. Um modelo físico que supõe o solo semelhante a um feixe de microtubos é o de Green e Ampt (1911), que fornece a taxa de infiltração instantânea em função de atributos físicos do solo e do total infiltrado. Mein e Larson (1973) resolveram a equação de Green e Ampt e desde então passou a ser conhecida como modelo de Green e Ampt modificado por Mein e Larson. Este modelo fornece o total infiltrado de acordo com a intensidade e duração das chuvas. A obtenção dos parâmetros desse modelo envolve determinações de campo e rotinas computacionais.

Outro modelo muito empregado, mas em manejo de irrigação, é o de Kostiakov-Lewis (1932) que é normalmente utilizado para estimar a infiltração acumulada. Neste modelo os parâmetros são estimados a partir de dados experimentais.

De acordo com Alves Sobrinho et al. (2003), um modelo bem mais consistente que o de Kostiakov-Lewis é o de Horton (1940), que escreve a capacidade de infiltração na forma de uma função exponencial. Neste modelo a capacidade de infiltração começa em uma taxa (f_o) e diminui exponencialmente até a uma taxa constante (f_c) (Equação 1).

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c)e^{-kt}, \quad (1)$$

onde:

$f(t)$ é a capacidade de infiltração em função do tempo [L/T];

f_c é a capacidade de infiltração final;

f_o é a capacidade de infiltração inicial;

k é a constante de decaimento dimensional [T^{-1}].

Um esboço da curva capacidade de infiltração x tempo está na (Figura 1).

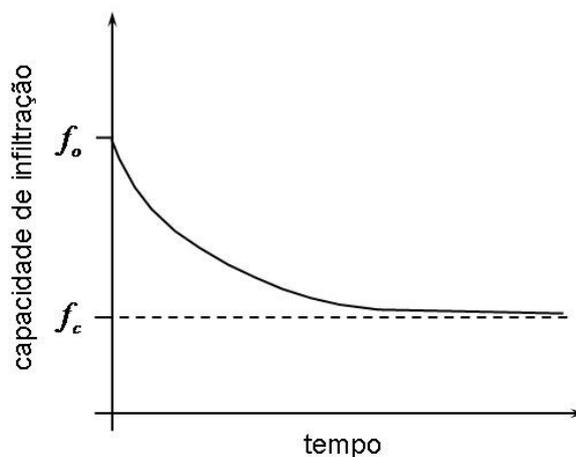


Figura 1 - Capacidade de infiltração x tempo

Segundo Prevedello (1996), a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que operam na superfície do solo, tais como o selamento superficial, devido aos impactos das gotas de chuva e fenômenos de expansão e contração do solo. Estes modelos apresentam coeficientes que podem ser obtidos a partir das equações teóricas, ou serem estimados por meio de regressão, a

partir de dados de infiltração medidos em campo. O processo de infiltração de água no solo depende principalmente de fatores relacionados ao solo e a superfície e do tipo de manejo (BRANDÃO et al., 2006).

Os fatores relacionados ao solo são a textura e a estrutura. Estes fatores determinam a quantidade, forma e continuidade dos macroporos, que influenciam expressivamente na condutividade hidráulica e na estabilidade dos agregados do solo. Como a condutividade hidráulica depende do espaço poroso, ela varia normalmente de solo para solo e até mesmo dentro do próprio solo (REICHARDT, 1996). Solos de textura grossa (arenosos) possuem, em geral, maior quantidade de macroporos do que os de textura fina (argilosos), apresentando então maiores taxas de infiltração. Além do mais, quanto mais compactado for o solo, menor será a macroporosidade e a taxa de infiltração.

O teor de matéria orgânica presente no solo possui papel fundamental na estabilidade dos agregados. Segundo Guerra (1999), solos com teores de matéria orgânica inferiores a 2% ocasionam, em geral, baixa estabilidade de agregados, tornando os solos mais propensos à formação da crosta superficial. As características químicas do solo também afetam a infiltração de água, uma vez que influenciam na dispersão dos agregados.

Um dos fatores relacionados à superfície que mais afeta a infiltração é a cobertura vegetal. Em solos com cobertura vegetal, os caminhos preferenciais deixados pela macrofauna edáfica e raízes (bioporos) facilitam a penetração de água depois das chuvas. Em áreas antropizadas esses biosporos são escassos, elevando os percentuais de impermeabilização (PRUSKI et al., 1997).

Pesquisas realizadas por diversos autores confirmam a importância da cobertura vegetal. Ela é responsável pelo aumento da macroporosidade e consequentemente da condutividade hidráulica do solo, além de proteger o solo contra os impactos diretos das gotas de chuva, reduzindo dessa forma o adensamento superficial, mantendo as taxas de infiltração elevadas e diminuindo as perdas de água pelo escoamento superficial e de solo pelo transporte de sedimento (SILVA et al., 2001; FARIA et al., 1998; BERTOL, et al., 1989).

Segundo Doran e Parkin (1994), a infiltração e a matéria orgânica do solo devem ser utilizadas como indicadores básicos na avaliação da qualidade do solo. A infiltração é um dos fenômenos que melhor refletem as condições físicas internas do solo, pois uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de poros favorável ao

crescimento de raízes e a boa capacidade de infiltração; e o teor de matéria orgânica favorece a estabilidade dos agregados (ALVES e CABEDA, 1999).

2.5. Resistência do solo à penetração

A compactação do solo influencia no arranjo estrutural dos grãos, aumentando a densidade e a microporosidade, diminuindo a macroporosidade e a capacidade de infiltração, interferindo no crescimento das raízes. Assim, o estudo em conjunto das modificações que ocorrem nas propriedades físicas do solo evidenciam a importância da avaliação do grau de compactação.

Um dos atributos físicos do solo que melhor retrata a compactação é a resistência à penetração (RP) (IMHOFF et al., 2000; STONE et al., 2002), por apresentar relação direta com a densidade do solo e com o crescimento das plantas (HOAD et al., 2001; SILVA, 2003).

Neste contexto, a RP é influenciada pelo conteúdo de água, pela textura e pela condição estrutural do solo (TARDIEU, 1994).

Num dado perfil, a RP identifica as camadas compactadas devido o manejo do solo. Esta medida descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele como, por exemplo, uma raiz em crescimento ou a água percolando (PEDROTTI et al., 2001).

Segundo Bertol et al. (2001), áreas de solos compactados possuem baixas capacidades de infiltração e, conseqüentemente, maior escoamento superficial e erosão.

Centurion et al. (2001) e Freddi et al. (2006) observaram que áreas sob diferentes sistemas de manejo apresentam modificações acentuadas na estrutura do solo, resultando numa elevada variabilidade da RP, com conseqüente formação de camadas compactadas, proporcionadas pelos implementos utilizados. Estas camadas foram observadas principalmente até os primeiros 40 cm de profundidade. Em áreas de vegetação preservada eles observaram menor RP, com baixa variabilidade no perfil.

Segundo Souza e Alves (2003), áreas com adequadas práticas de manejo apresentam maiores capacidades de infiltração e condutividade hidráulica e menor RP.

A RP é determinada com o uso de penetrômetros. Dentre os penetrômetros mais utilizados encontram-se os estáticos (que registram a RP por unidade de área), os

dinâmicos ou de impacto (que registram a RP por unidade de profundidade) e os estáticos eletrônicos (que registram a RP por valores de resistência elétrica do solo).

Neste trabalho será utilizado o penetrômetro de impacto. Este tipo de penetrômetro tem sido amplamente utilizado no campo para caracterização de solos compactados pelo uso e manejo. À medida que o penetrômetro atinge as camadas mais compactas, a penetração por impacto é menor, possibilitando a localização dessas zonas no perfil.

Segundo Tormena e Roloff (1996), Casa Grande (2001) e Costa e Nishiyama (2007), as principais vantagens do penetrômetro de impacto são: o baixo custo; desnecessidade de calibração frequente; a obtenção de resultados independente do operador; a leveza do equipamento, reunido num conjunto de cerca de 6 kg; a aplicabilidade a todas as situações indicadas aos penetrômetros estáticos manuais; a possibilidade da utilização em solos de alta resistência; a praticidade por dispensar o dinamômetro e o registrador; e a rapidez na execução dos ensaios em campo.

2.6. Macrofauna edáfica

Segundo Lavelle et al. (1994), os animais da fauna edáfica são classificados, com relação ao tamanho e a mobilidade, como: microfauna, constituída de animais ligeiramente mais móveis que a microflora, de diâmetro menor que 0,2 mm; mesofauna, constituída por espécies que se movimentam nos poros, nas fissuras e na interface entre a serrapilheira e o solo, de diâmetro entre 0,2 e 0,4 mm (ex.: ácaros, colêmbolos, etc.); e macrofauna, constituída de animais de grande mobilidade que exercem importante papel no transporte de materiais, de diâmetros maiores que 4 mm (ex.: anelídeos, térmitas e formigas, incluindo os moluscos, crustáceos e aracnídeos).

Os animais constituintes da meso e macrofauna edáfica influenciam no ciclo da matéria orgânica dos solos e na liberação de nutrientes assimiláveis pelas plantas (Lavelle, 2002 e Lavelle et al., 2003). A diversidade de plantas favorece a presença da macrofauna no solo contribuindo com a construção de galerias e com a produção de bioporos. As galerias produzidas, principalmente pela macrofauna, aumentam a condutividade hidráulica e a aeração, facilitando a penetração das raízes, contribuindo com a estabilidade estrutural do solo, evitando o transporte de sedimentos (DECAENS

et al., 1994; LAVELLE et al., 1994; FISHER e BINKLEY, 2000) e modificam a estrutura do solo para outros animais (WOLTERS, 2000).

As práticas agrícolas e de manejo florestal afetam a população edáfica por intervenção nas características físicas, químicas ou biológicas do ecossistema, podendo produzir aumento, redução ou limitação populacional. Neste contexto, a atividade e abundância das comunidades edáficas podem ser usadas como indicadores da qualidade e funcionamento do solo (GONÇALVES et al., 2000; TAPIA-CORAL, 2004).

A degradação do solo produzida por perturbações antrópicas deixa-o exposto às intempéries e produzem compactação, erosão e o aumento da perda de nutrientes por lixiviação, interferindo na população edáfica (GONÇALVES et al., 2000).

Barros et al. (2001) estudaram a macrofauna e a transformação da estrutura do solo de uma área de floresta desmatada para produção de pasto. Após o desmatamento eles observaram uma redução na diversidade da macrofauna, nos teores de matéria orgânica e umidade e na capacidade de infiltração do solo.

Todos os animais do solo, com exceção dos predadores, contribuem com o aumento da humificação do material orgânico, de modo que alguns autores afirmam que sem animais não se forma húmus (PRIMAVESI, 2002). Neste contexto, um dos macroinvertebrados que merece destaque na produção de húmus são as minhocas, pertencentes ao filo *Annelida* e a ordem taxonômica *Oligochaeta*, conhecidas como “engenheiros do solo” juntamente com as formigas (ordem *Hymenoptera*) e os cupins (ordem *Isoptera*). Elas também são conhecidas pela produção de galerias que aeram e aumentam a infiltração de água no solo e pelo transporte e mistura de quantidade considerável de solo e matéria orgânica não decomposta, influenciando na estabilidade, produtividade e fertilidade do solo (BRADY, 1989 e PASCHOAL et al., 1992).

Os resíduos expelidos pelas minhocas possuem maior quantidade de matéria orgânica, nitrogênio total sob forma de nitrato, cálcio, magnésio, fósforo e potássio, favorecendo a uma maior capacidade de troca de cátions e influenciando na fertilidade, produtividade e estabilidade do solo (BRADY, 1989 e DUCATTI, 2002). Segundo Makeschin (1997), solos compactados podem apresentar até 50% de redução de minhocas. Neste contexto, as atividades antrópicas são determinantes na dinâmica nesta população.

As formigas e os cupins constroem ninhos no solo, transportando grande quantidade de subsolo para a superfície, fragmentam e misturam material orgânico com o solo, contribuindo com a ciclagem de nutrientes e com a aeração e a drenagem dos

solos (LIMA, 1989; CAVALCANTI e LOPES, 1994; CARVALHO et al., 1999; GONÇALVES et al., 2000; e PRIMAVESI, 2002).

A ordem *Coleoptera* (besouros) possui extensa variação na forma, tamanho, função e distribuição. Grande número deles está entre os organismos que decompõem material orgânico, reciclando nutrientes, ou que controlam populações de decompositores por meio da predação (DUCATTI, 2002).

As classes *Diplópoda* e *Chilópoda* são representadas respectivamente pelos piolhos-de-cobra e lacraias, que são os maiores consumidores de fragmentos orgânicos. São animais de hábitos noturnos e que saem de seus esconderijos geralmente em dias chuvosos, nos períodos secos ficam em estado de dormência (PASCOAL et al., 1992).

Pertencente a classe dos *Orthopteros*, os grilos são animais que escavam o solo e são insetos fitófagos, que, eventualmente, também podem preda até mesmos os da mesma espécie, principalmente quando o alimento é escasso (BERTI FILHO, 1995 e DUCATTI, 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A unidade de manejo florestal da Fazenda Pau D'arco e Bonfim localiza-se no setor oriental da Chapada do Araripe, extremo sul do Estado do Ceará, próxima a divisa com o Estado do Pernambuco (Figura 2). Ela foi implantada em 2002 com a finalidade de fornecer lenha para uma indústria de cerâmica localizada no município do Crato. Antes da implantação, a partir de 1974, a área foi degradada para plantio de café e outras culturas, além de abrigar aproximadamente 52 famílias, que sobreviviam da caça e da produção clandestina de carvão vegetal.

A unidade de manejo é composta de 11 talhões, distribuídos numa área de aproximadamente 15 km², que são explorados individualmente em seqüência anual. Nas vizinhanças da mesma encontra-se a Floresta Nacional do Araripe (FLONA), com aproximadamente 383 km² de área preservada, que exerce grande influência no clima local, tornando-o úmido e desempenhando papel de destaque nos recursos hídricos regionais.

3.1.1. Características climáticas

Segundo as normais climatológicas do INMET (1993), o clima desta região é do tipo Aw', característico de "Clima Tropical Chuvoso" (classificação de Köppen), com precipitação média anual de 1033 mm, distribuída numa estação chuvosa que vai de janeiro a maio, temperatura média máxima de 34 °C e mínima de 18 °C e umidade relativa do ar média máxima de 80% e mínima de 49%.

3.1.2. Vegetação e solo

Segundo Jacomine et al. (1973), Lima (1989) e Cavalcante e Lopes (1994), no setor oriental da Chapada encontram-se: a floresta úmida semiperenifólia, caracterizada pela alta densidade e elevado porte das árvores, sem gramíneas no sub-bosque; o cerradão, caracterizado pela redução na densidade arbórea e no porte das

árvores, com gramíneas no sub-bosque; o cerrado, com árvores esgalhadas, retorcidas e distantes umas das outras; e as áreas antropizadas.

De acordo com o levantamento exploratório de Jacomine et al. (1973) e de Carvalho et al. (1999), no setor oriental da chapada predominam os solos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média a argilosa, provenientes dos arenitos da Formação Exu, que afloram na área.

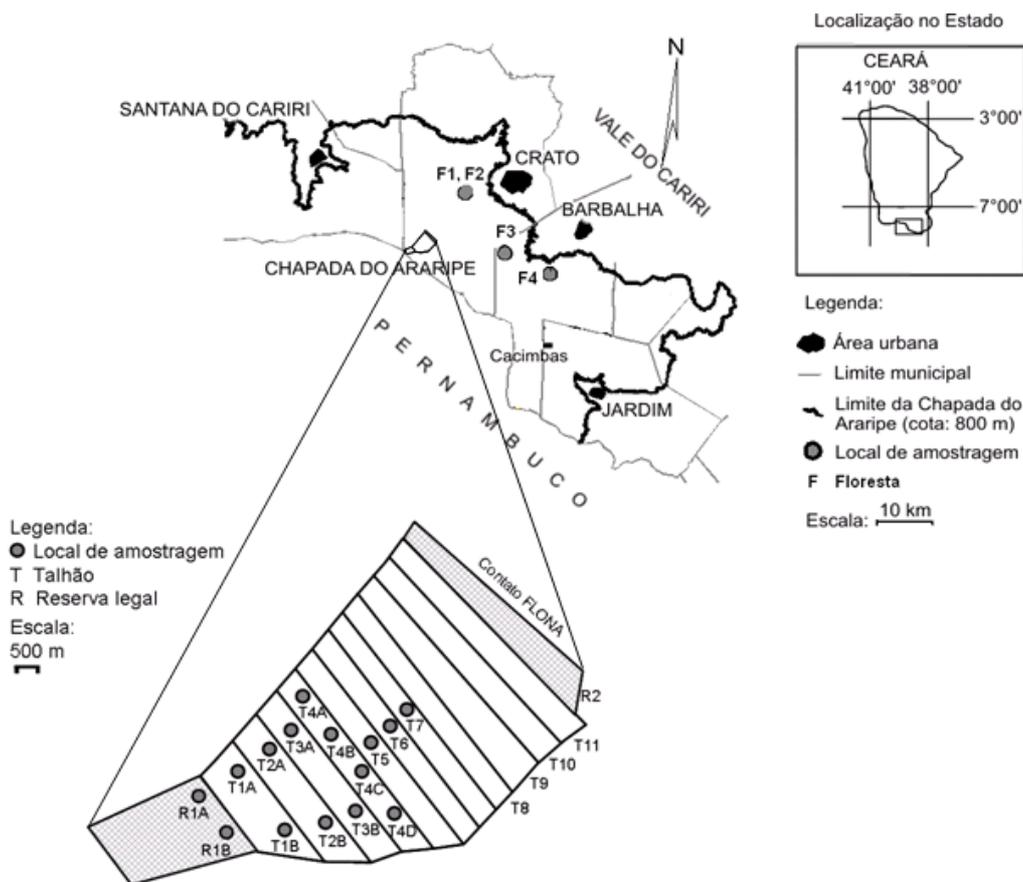


Figura 2 - Área de estudo

3.2. Pontos de amostragens

Os pontos de amostragens foram escolhidos aleatoriamente. Com auxílio de mapa e GPS os pontos amostrados foram georreferenciados conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Pontos amostrados georreferenciados (UTM, SAD 69, Zona 24)

Pontos	Latitude	Longitude
T1A	9188514	436623
T1B	9188351	437837
T2A	9189400	437009
T2B	9188459	437788
T3A	9189762	437237
T3B	9188539	438337
T4A	9189507	439240
T4B	9183024	438825
T4C	9189515	438148
T4D	9190038	437850
T5	9188746	438547
T6	9189224	439560
T7	9190116	439222
R1A	9188809	435987
R1B	9188433	436343
F1	9199039	445543
F2	9198714	445543
F3	9187654	452521
F4	9183896	460703

As amostragens foram realizadas nos períodos seco (outubro, novembro e dezembro de 2008) e chuvoso (abril de 2009). Foram feitas: 6 coletas de amostras em talhões explorados (T1A e B, T2A e B e T3A e B na Figura 1); 9 coletas incluindo um talhão com exploração em andamento (T4A, B, C e D), talhões ainda não explorados (T5, T6 e T7) e área de reserva legal (R1A e R1B); e 4 amostras na FLONA (F1, F2, F3 e F4), utilizadas como representativas de áreas preservadas. Assim, totalizou-se 19 amostragens em cada período.

3.3. Coleta de amostras de solos

As coletas de amostras de solos para determinação dos teores de matéria orgânica e umidade, nos períodos chuvoso e seco, foram feitas por meio de trado a cada 20 cm, até 60 cm de profundidade. Esta faixa foi escolhida, pois até esta profundidade foram identificadas, por Mendonça et al. (2009), variações significativas no armazenamento de água nos solos do período chuvoso para o seco, quando comparadas áreas de vegetações extremamente antropizadas com áreas de vegetações preservadas no

topo da Chapada do Araripe, além desta profundidade as variações no armazenamento não foram significativas.

As coletas de amostras de solos indeformadas para determinação da micro e macroporosidade foram realizadas utilizando-se coletor tipo Uhland nos perfis de 10 e 20 cm.

3.4. Granulometria

A granulometria foi feita no Laboratório de Análises de Física do Solo da UFC, através do método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Na análise utilizou-se como dispersante químico o hidróxido de sódio (NaOH). Neste procedimento pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que é seca em estufa e pesada; a areia é separada, seca em estufa e pesada; o silte, correspondente ao complemento dos percentuais de 100%.

As Figuras 3 e 4 mostram alguns equipamentos utilizados na determinação granulométrica do solo.



Figura 3 - Agitador elétrico “stirrer”



Figura 4 - Amostras em cilindros de sedimentação

3.5. Matéria orgânica via oxidação e calcinação

A determinação da matéria orgânica via oxidação (Walkley-Black) foi feita no Laboratório de Análises da UFC. Utilizou-se o dicromato de potássio em meio sulfúrico e como fonte de energia o calor desprendido por reação com ácido sulfúrico e/ou por aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para obtenção do teor de matéria orgânica (sal de Mohr) (EMBRAPA, 1997).

A determinação da matéria orgânica via calcinação (Loss of Ignition) foi feita no Laboratório da Faculdade de Tecnologia CENTEC – Cariri. Neste

procedimento, 4g de amostra do solo previamente seca a 105°C é levada a mufla aquecida a 550°C por 5h. Através da razão entre o peso da fração calcinada da amostra, e o peso do solo seco em estufa a 105°C obtem-se o teor de matéria orgânica (DAVIES, 1974). As amostras são pesadas em balança digital com sensibilidade de 0,001 g.

3.6. Umidade

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, através da razão entre o peso da água contida na amostra e o peso da parte sólida, após completa secagem em estufa a 105 °C por 24h (EMBRAPA, 1997).

3.7. Capacidade de infiltração

A taxa de infiltração de água no solo foi avaliada durante uma hora, utilizando-se cilindros concêntricos com carga variável.

A curva da taxa de infiltração *versus* tempo foi ajustada segundo o modelo de Horton. A partir da curva ajustada foi obtida a capacidade de infiltração final, ou mínima, correspondente à estabilização. Os testes de infiltração foram executados nos locais de coleta de solo conforme ilustração das (Figuras 5 e 6).



Figura 5 - Tambores de 200 L com água utilizada nos testes de infiltração



Figura 6 - Teste de infiltração

3.8. Resistência à penetração do solo

Para as medidas de resistência à penetração do solo (RP), foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo Stolf (STOLF et al., 1983) (Figura 7).

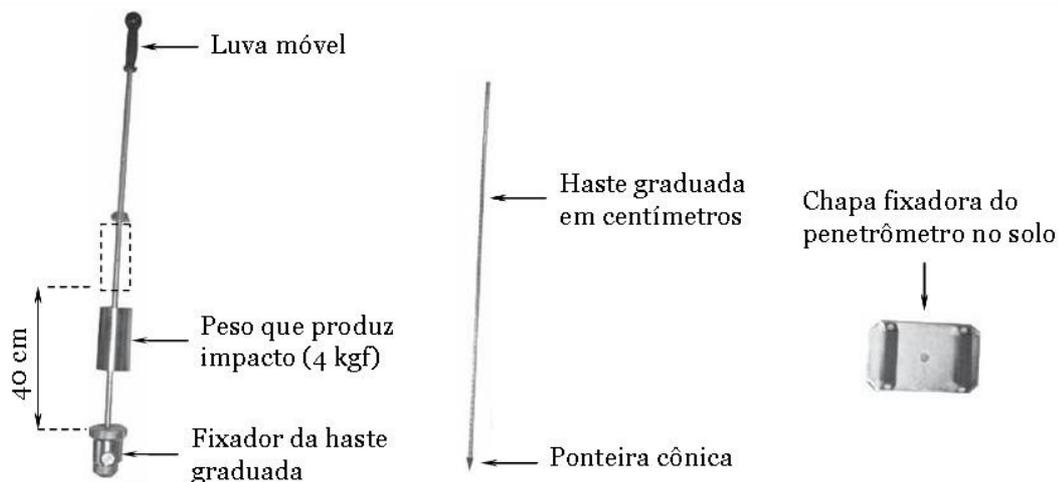


Figura 7 - Penetrômetro de impacto modelo Stolf

Neste procedimento, a penetração por impacto foi lida na haste graduada do penetrômetro e os resultados foram fornecidos em impactos/dm (número de impactos necessários para perfurar um decímetro de solo).

As RPs foram determinadas em cada local de amostragem (Figura 2), onde foram selecionados aleatoriamente cinco pontos num raio de aproximadamente 200 m.

As RPs em cada ponto foram obtidas a cada 5 cm de profundidade, num perfil de 60 cm.

Foi obtido um perfil de RP representativo de cada local de amostragem correspondente às médias por profundidade dos valores obtidos nos cinco pontos selecionados.

3.9. Macro e microporosidade

As macro e microporosidades foram determinadas na Universidade UFC Campus Cariri, através de mesa de tensão (Figura 8). Esta mesa de tensão foi construída, calibrada e operada conforme recomendações de Kiehl (1979).



Figura 8 - Mesa de tensão de sucção de 60 cm de coluna d'água

Antes de serem submetidas à mesa de tensão, as amostras de solos indeformadas foram saturadas em bandeja com água até dois terços da altura das mesmas. Durante o uso da mesa de tensão as amostras foram pesadas a cada 24 horas, até atingirem a estabilidade do peso. Em seguida foram levadas à estufa por 24 horas para obtenção da umidade retida nos microporos.

As macro e a microporosidades foram determinadas através das Equações 2 e 3

$$Ma\% = \frac{V_d}{V_{amostra}} \cdot 100, \text{ onde } V_d = \frac{m_1 - m_2}{\rho_a} \quad (2)$$

$$Mi\% = \frac{V_r}{V_{amostra}} \cdot 100, \text{ onde } V_r = \frac{m_2 - m_3}{\rho_a} \quad (3)$$

Onde Ma é a macroporosidade (%), Mi é a microporosidade (%), V_d é o volume drenado dos macroporos (cm^3), V_r é o volume retido nos microporos, $V_{amostra}$ é o volume total da amostra (50 cm^3), m_1 é a massa da amostra saturada (g), m_2 é a massa da amostra após drenagem na mesa (g), m_3 é a massa da amostra após secagem na estufa (g) e ρ_a é a massa específica da água (1 g/cm^3).

3.10. Macrofauna edáfica

Os indivíduos da macrofauna edáfica foram coletados em amostras de solo $25 \times 25 \times 30 \text{ cm}$, divididas em camadas de 10 cm (Figura 9).

No laboratório a triagem dos indivíduos foi manual, a olho nu, com auxílio de peneiras, pinças e pincéis (Figura 10). Os indivíduos foram acondicionados em recipiente contendo álcool a 70% para posterior classificação.

Os indivíduos foram contados e identificados ao nível de ordem taxonômica (metodologia recomendada pelo Programa TSBF - Tropical Soil Biology and Fertility, IUBS/UNESCO; ANDERSON e INGRAN, 1993).



Figura 9 - Amostrador de solos utilizado na coleta da macrofauna edáfica



Figura 10 - Triagem dos indivíduos da macrofauna edáfica

A densidade média de indivíduos por metro quadrado em cada grupo foi obtida a partir da Equação 4 (Harada e Bandeira, 1998).

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n.A} \quad (4)$$

Onde D é a densidade média de indivíduos por metro quadrado; n é o número de amostras por grupo; N_i é o número de indivíduos por amostra i ; A é a área da seção transversal do amostrador de solos ($0,0625 \text{ m}^2$).

3.11. Análise estatística

Utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$) para ordenar grupos de solos com perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante e posteriormente a análise de variância para as variáveis consideradas normalmente distribuída pelo teste de Kolmogorov–Smirnov, para contrastes entre médias das variáveis umidade, capacidade de infiltração final, resistência à penetração, macro e microporosidade, usando o programa Statistical Analysis Systems (SAS).

Utilizou-se também o coeficiente de variação para análise de dispersão das variáveis umidade e capacidade de infiltração final em cada grupo. Segundo Gomes

(2000), nos ensaios agrícolas, para experimentos de campo, os coeficientes de variação são considerados: baixo, quando inferiores a 10%; médio, no intervalo de 10 a 20%; alto, entre 20 e 30%; e muito alto, quando superiores a 30%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Granulometria

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das frações do solo em porcentagem de argila, silte e areia presentes na camada de 20 cm de profundidade.

Tabela 2 - Granulometria das amostras dos solos coletadas nas áreas de floresta preservada e de manejo florestal

Áreas	Argila%	Areia%	Silte%
Floresta	28,56	65,60	5,84
Manejo	27,11	67,60	5,24

Observa-se na Tabela 2 que os solos das áreas de floresta preservada e manejo florestal possuem textura com percentuais similares em todas as frações granulométricas.

4.2. Matéria orgânica do solo

Os teores de matéria orgânica por local de amostragem e por perfil de solo, obtidos pelos métodos da calcinação (*Loss of Ignition*) e da oxidação (Walkley-Black), estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Teores de matéria orgânica por local de amostragem e por perfil de solo, obtidos pelos métodos da calcinação e da oxidação (R – reserva legal; T – talhão; F – floresta; A, B, C e D – repetições em cada local de amostragem; valores entre parênteses – resultados pelo método da oxidação)

Amostra	Matéria orgânica (%)		
	Perfil (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
R1A	6,8	6,1 _(1,6)	6,6
R1B	6,6	6,5 _(1,4)	6,3
T1A	2,9	2,4	2,6
T1B	1,9	1,3	1,8
T2A	2,9	2,7	2,4
T2B	1,8	1,9	1,7
T3A	1,9	1,7	1,6
T3B	2,6	1,8	1,8
T4A	7,1 _(1,7)	6,2 _(1,7)	7,6 _(1,6)
T4B	7,4	9,2	7,0 _(1,4)
T4C	5,9	3,4	7,3 _(1,2)
T4D	8,3 _(2,3)	6,8 _(2,0)	7,6 _(1,4)
T5	7,2 _(2,0)	7,1	6,5
T6	7,1	7,2	7,1
T7	7,7 _(1,9)	7,4 _(2,0)	6,9
F1	13,2 _(4,4)	11,2 _(3,5)	10,2
F2	12,2	11,5 _(3,5)	11,0
F3	12,5	10,9	10,4
F4	12,0	12,3	10,8

Foram selecionadas 28% das amostras (n = 16) para determinação da correlação linear entre os teores de matéria orgânica do solo obtidos pelos métodos da calcinação (MC) e da oxidação (MO), conforme Figura 11.

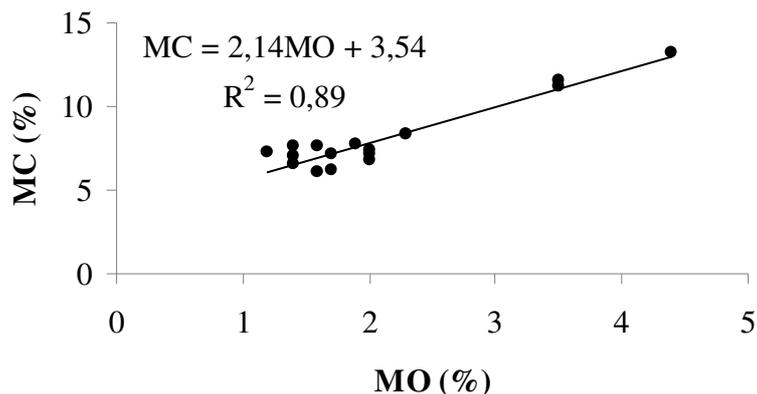


Figura 11 - Correlação linear entre os teores de matéria orgânica do solo obtidos pelos métodos da calcinação (MC) e da oxidação (MO)

Verifica-se na Figura 11 que o modelo de correlação linear entre os teores de matéria orgânica dos solos obtidos pelos métodos MC e MO, foi explicado por 89% de ajuste do modelo.

O método MC não é um procedimento de rotina, porém ele poderá ser utilizado para estimar os teores de matéria orgânica pelo método MO, através do uso da equação de correlação.

O método MC apresenta as seguintes vantagens em relação ao método MO: baixo custo e menores impactos ambientais, pois pelo método MO utiliza-se o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) que é lançado no meio ambiente como resíduo. Segundo Konen (2002) e Escosteguy et al. (2007), este aspecto ambiental motivou vários países a substituir o método MO pelo método MC.

De acordo com a reta de correlação da Figura 11, há uma superestimação dos teores de matéria orgânica pelo método MC, em comparação com o método MO. Esta superestimação se deve as perdas de água estrutural e a calcinação de alguns minerais presentes na argila do solo (ex.: caulinita e gibbsita), quando as amostras são submetidas a temperaturas elevadas (a partir de $500^\circ C$) (CARVALHO JÚNIOR et al., 1997) e a não oxidação de parte da humina (fração da matéria orgânica) pelo dicromato de potássio utilizado no método MO (NELSON e SOMMERS, 1996).

O coeficiente linear da reta de correlação indica que para uma amostra hipotética de solos sem matéria orgânica, o resultado obtido pelo método MC seria de aproximadamente 3,5%. Teoricamente esta diferença seria o resultado das perdas de água estrutural e da calcinação de minerais da argila das amostras (como os teores de

argila das áreas de floresta e das áreas de manejo são de respectivamente 28 e 27%, considerou-se as perdas semelhantes).

O coeficiente angular da reta de correlação indica que os teores de matéria orgânica das amostras obtidos pelo método MC são aproximadamente o dobro dos obtidos pelo método MO, mostrando que o método MO subestima os resultados, corroborando com achados de Nelson e Sommers (1996).

Neste contexto, desconsiderando as perdas teóricas constantes da água estrutural e da calcinação de minerais da argila, observa-se que os resultados obtidos pelos métodos MC e MO diferem linearmente apenas pelo teor de matéria orgânica.

A Figura 12 mostra a variação da coloração das amostras de solos das áreas de floresta antes e após calcinação a 550°C.



Figura 12 - Amostras de solos da área de floresta antes e após calcinação a 550°C

De acordo com a Figura 12, a coloração negra das amostras antes da calcinação indica a presença da matéria orgânica. Após a calcinação, a matéria orgânica é volatilizada, resultando no solo mineral de coloração vermelho-amarela.

4.2.1. Ordenação de grupos de solos de perfil de matéria orgânica quantitativamente semelhante

O teor de matéria orgânica das amostras de solo coletadas nos talhões da unidade de manejo florestal e na área de vegetação preservada da FLONA foi ordenado em três grupos, de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de significância Figura

13. Cada grupo representa solos com teor de matéria orgânica quantitativamente semelhante.

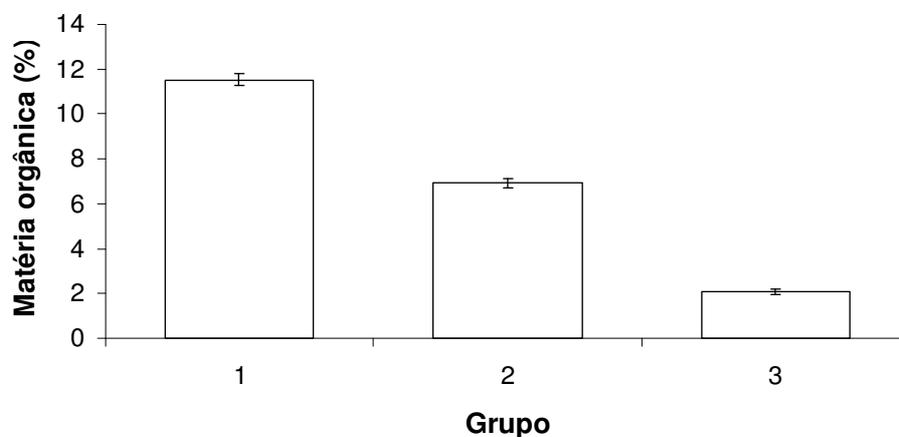


Figura 13 - Médias e erro padrão amostral da matéria orgânica, por grupo, ordenadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Os Grupos 1 e 2 apresentam teores de matéria orgânica semelhantes aos grupos de mesma ordem identificados por Mendonça et al. (2009), já o Grupo 3 apresenta menor teor de matéria orgânica que o Grupo 4 identificado por eles.

As localidades ordenadas por grupo estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Áreas ordenadas por grupo de matéria orgânica quantitativamente semelhante

Grupo	Local	Descrição das localidades
1	F1, F2, F3, F4	Floresta úmida
	T4A, T4B, T4C, T4D	Talhão com exploração em andamento
2	T5, T6, T7	Talhões ainda não explorados
	R1A, R1B	Talhão da área de reserva legal
3	T1A, T1B, T2A, T2B, T3A, T3B	Talhões explorados

De acordo com a Tabela 4, os talhões já explorados apresentam menor teor de matéria orgânica que os demais talhões e que a área de floresta preservada. A exposição às intempéries, dos solos desprotegidos dos talhões já explorados (Grupo 3), levou a uma redução significativa do teor de matéria orgânica. Ao contrário dos solos

protegidos na floresta úmida, cuja vegetação contribui com o aumento do aporte de matéria orgânica.

4.3. Umidade

Os teores de umidade nos períodos chuvoso e seco, por local de amostragem e por perfil de solo estão na Tabela 5.

Tabela 5 - Teores de umidade nos períodos chuvoso e seco, por local de amostragem e por perfil de solo

Amostra	Umidade (kg.kg ⁻¹)					
	Período chuvoso			Período seco		
	Perfil (cm)			Perfil (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	20 - 40	40 - 60
R1A	12,5	12,1	14,2	11,0	9,2	9,1
R1B	14,3	11,5	14,3	13,6	9,6	9,5
T1A	12,2	13,5	16,0	4,7	7,6	7,8
T1B	10,3	13,5	17,5	7,1	7,8	8,8
T2A	17,0	12,6	10,8	7,6	8,5	8,7
T2B	13,1	12,9	15,6	7,5	9,3	3,4
T3A	11,3	13,4	15,5	8,0	7,2	8,1
T3B	12,9	12,7	16,9	7,9	7,8	9,0
T4A	14,3	14,0	16,1	11,0	9,2	10,4
T4B	10,9	10,1	13,2	7,4	8,5	9,0
T4C	14,6	12,7	15,4	8,4	8,7	10,3
T4D	14,3	15,9	17,4	10,8	7,9	9,6
T5	13,1	13,8	15,1	9,0	9,4	9,0
T6	15,4	13,9	15,2	9,3	9,2	9,1
T7	13,2	14,2	17,7	9,0	9,1	10,0
F1	29,1	28,6	28,0	13,3	13,4	14,5
F2	28,6	27,7	25,1	19,3	18,6	17,6
F3	26,6	29,7	27,3	19,8	18,4	18,4
F4	24,6	25,0	24,7	20,1	19,7	19,2

As médias, os valores máximos e mínimos e os coeficientes de variação de umidade por grupo nos períodos chuvoso e seco estão na Tabela 6.

Tabelas 6 - Médias, valores máximos e mínimos e coeficientes de variação da umidade nos períodos chuvoso e seco

Grupo	Umidade (kg.kg ⁻¹)							
	Período chuvoso				Período seco			
	méd.	mín.	máx.	c.v.	méd.	mín.	máx.	c.v.
1	27,1 aA	24,6	29,7	6,8	17,7 aB	13,2	20,1	14,2
2	14,1 bA	10,1	17,7	12,6	9,5 bB	7,4	13,6	12,4
3	13,8 bA	10,3	17,5	15,7	7,6 cB	3,4	9,3	19,1

a, b, c: médias entre linhas seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$); A, B: médias entre colunas seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

De acordo com a Tabela 6, a média de umidade dos solos do Grupo 1, tanto no período chuvoso como no seco, foi superior a dos demais grupos, com diferença significativa ao nível de significância de 5%, enquanto a do Grupo 3 apresentou os menores valores. Observa-se também que a umidade do Grupo 1 no período seco foi superior à média da umidade dos demais grupos no período chuvoso e que a diferença significativa entre os Grupos 2 e 3 ocorre apenas no período seco. Estes resultados corroboram com os de Mendonça et al. (2009), indicando que o aporte de matéria orgânica conserva a umidade devido à boa capacidade de absorção e retenção de água.

Os coeficientes de variação para a umidade nos períodos chuvoso e seco, foram considerados médios para todos os grupos ($10\% < c.v. < 20\%$), com exceção do Grupo 1 no período chuvoso que foi considerado baixo ($c.v. < 10\%$), indicando uma maior homogeneidade da umidade na área de floresta preservada.

A Figura 14 mostra que os modelos de correlação linear entre as médias de matéria orgânica e de umidade dos 60 cm de solo, nos períodos seco e chuvoso, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009), foram explicados com respectivamente 85 e 71% de ajuste a este modelo. Este resultado indica que, em geral, um maior conteúdo de matéria orgânica resulta em uma maior umidade no solo por grupo.

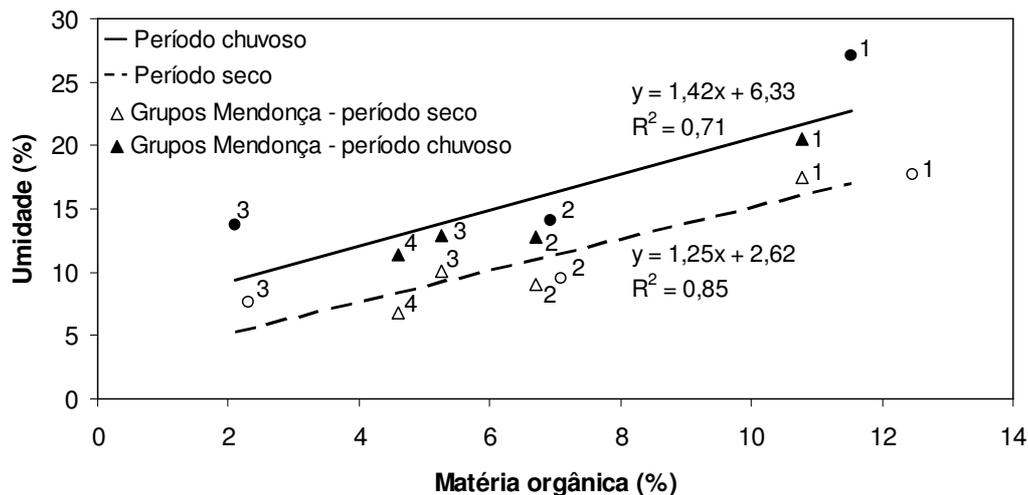


Figura 14 - Regressão linear entre médias de matéria orgânica e de umidade dos 60 cm de solo, nos períodos seco e chuvoso, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009)

4.4. Capacidade de infiltração

As capacidades de infiltração final por local de amostragem estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Capacidades de infiltração final (fpc) por local de amostragem

Amostra	fpc (cm/ min)
R1A	1,7
R1B	2,2
T1A	2,5
T1B	2,5
T2A	2,6
T2B	0,4
T3A	1,1
T3B	2,3
T4A	2,2
T4B	2,5
T4C	2,0
T4D	1,2
T5	1,5
T6	2,0
T7	3,2
F1	3,5
F2	3,6
F3	3,8
F4	3,5

As médias, os valores máximos e mínimos e os coeficientes de variação da capacidade de infiltração final por grupo estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Médias, valores máximos e mínimos e coeficientes de variação da capacidade de infiltração final (fpc) por grupo

Grupo	fpc (cm/min)			
	méd.	mín.	máx.	c.v.
1	3,6 a	3,5	3,8	3,9
2	2,1 b	1,2	3,2	28,4
3	1,9 b	0,4	2,6	48,6

a, b: médias na mesma coluna seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

De acordo com a Tabela 8 há diferença significativa entre o Grupo 1, de maior capacidade média de infiltração final, e os demais grupos, indicando uma diminuição da infiltração nos solos dos Grupos 2 e 3, corroborando com os achados de Mendonça et al. (2009).

Os coeficientes de variação para a capacidade de infiltração foram considerados: baixo para o Grupo 1 ($c.v. < 10\%$), alto para o Grupo 2 ($20\% < c.v. < 30\%$) e muito alto para o Grupo 3 ($c.v. > 30\%$).

Como a capacidade de infiltração depende da umidade antecedente, da natureza e do estado da estrutura do solo superficial, ela é facilmente afetada pelo tipo de vegetação e de manejo. Neste contexto, a matéria orgânica como material cimentante contribui com a estabilidade da estrutura do solo, tornando a capacidade de infiltração mais homogênea na área. Assim, o Grupo 1, por apresentar maior conteúdo de matéria orgânica e coeficiente de variação baixo, apresenta solos de infiltração homogênea. O Grupo 3, por ter menor conteúdo de matéria orgânica e coeficiente de variação muito alto para a capacidade de infiltração, apresenta solos de infiltração heterogênea.

O Grupo 2, por apresentar valores intermediários do teor de matéria orgânica e do coeficiente de variação para a capacidade de infiltração, indica solos em fase de recuperação, tendendo a homogeneidade da infiltração. Estas áreas estão em recuperação durante seis anos (intervalo de tempo entre a implantação do plano de manejo e a coleta de dados em 2008). Antes da implantação do plano de manejo em

2002 esta área de talhões não explorados havia sido explorada sem controle durante 28 anos.

Como o talhão com exploração em andamento se encontra no Grupo 2 e o talhão explorado um ano antes se encontra no Grupo 3, verifica-se um intervalo de tempo relativamente curto para degradação da matéria orgânica com conseqüentes modificações na capacidade de infiltração do solo desprotegido.

A Figura 15 mostra a regressão linear entre as médias da capacidade de infiltração final e da matéria orgânica dos primeiros 20 cm de solo, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009). Este modelo de correlação linear é explicado com 62% dos dados ajustados, mostrando que quanto maior o conteúdo de matéria orgânica, maior a capacidade de infiltração por grupo.

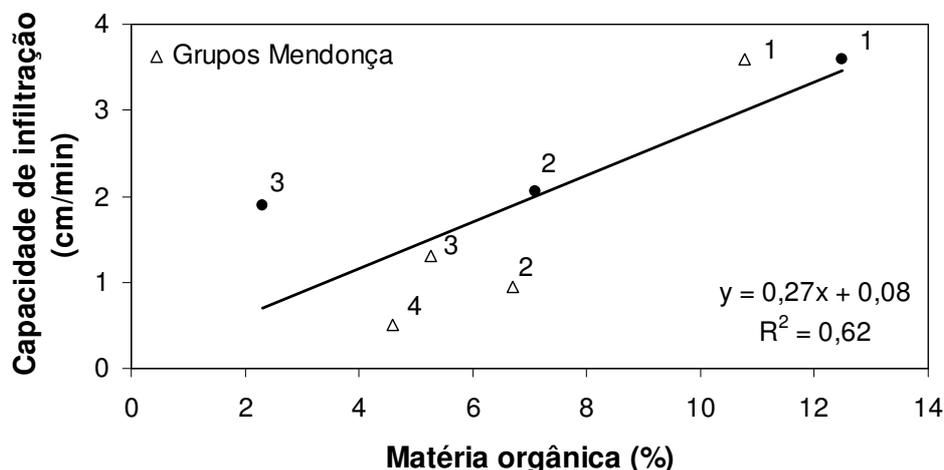


Figura 15 - Regressão linear entre as médias de capacidade de infiltração final e de matéria orgânica dos primeiros 20 cm de solo, incluindo os grupos identificados por Mendonça et al. (2009)

De acordo com a Figura 15, as maiores capacidades de infiltração foram observadas nas áreas de floresta úmida (Grupos 1), com maior teor de matéria orgânica, e as menores nos demais grupos de áreas antropizadas, com menor teor de matéria orgânica. Nas áreas de floresta preservada, a serrapilheira, a matéria orgânica e as raízes das árvores protegem os solos dos impactos das gotas de chuva contribuem com a elevada capacidade de infiltração e ajudam a manter o solo coeso, reduzindo o perigo do transporte de sedimentos.

4.5. Resistência à penetração do solo

As resistências à penetração dos solos por local de amostragem estão na Tabela 9.

Tabela 9 - Resistência à penetração (RP) dos solos por local de amostragem

Amostra	RP (impacto /dm)		
	Perfil (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 60
R1A	1,3	1,6	1,3
R1B	0,9	1,2	1,1
T1A	2,3	2,1	1,1
T1B	3,6	3,1	1,7
T2A	3,0	2,9	2,0
T2B	1,0	1,6	1,1
T3A	2,0	1,9	1,0
T3B	2,0	2,6	1,8
T4A	1,1	1,8	1,5
T4B	1,2	1,7	1,4
T4C	1,6	2,4	1,3
T4D	1,5	2,4	1,7
T5	2,2	2,3	1,4
T6	2,0	2,9	2,1
T7	1,8	1,8	1,0
F1	0,7	1,1	0,9
F2	0,9	1,2	1,7
F3	0,8	1,7	1,7
F4	0,6	1,0	0,9

As médias das resistências dos solos à penetração por profundidade e por grupos estão na Tabela 10.

Tabelas 10 - Médias das resistências à penetração (RP) por profundidade e por grupo

Grupo	Profundidade (cm)/ RP (impacto/dm)		
	0-20	20-40	40-60
1	0,75 a	1,25 a	1,30 a
2	1,50 b	2,01 b	1,42 a
3	2,31 c	2,34 b	1,43 a

a,b,c: médias entre linhas e por perfil, seguidas por mesma letra minúscula, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

A Tabela 10 mostra que, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o Grupo 1 foi o que apresentou menores valores de RP diferindo estatisticamente dos demais

grupos. Os Grupos 2 e 3 apresentaram diferença significativa na profundidade de 0-20, com maior compactação no Grupo 3. Na profundidade de 20-40 cm os Grupos 2 e 3 não apresentaram diferença significativa. Estes resultados indicam uma menor compactação nas camadas superficiais (0-40 cm) das áreas de vegetação preservada. Nas áreas manejadas há uma maior compactação, com destaque para áreas de manejo recente (Grupo 3) que apresentaram uma maior compactação nos primeiros 20 cm de profundidades.

Na profundidade de 40-60 cm, os Grupos não apresentaram diferença significativa, indicando fraca interferência das ações antrópicas neste perfil.

O Grupo 1, característico de vegetação preservada, de menor RP nas camadas superficiais, apresentou maiores teores de matéria orgânica (Figura 13) e umidade (Tabela 6) e maior capacidade de infiltração (Tabela 8) que os demais grupos.

O Grupo 3, característico de áreas recente manejadas, de maior RP nos primeiros 20 cm de profundidade, apresentou menores teores de matéria orgânica (Figura 13) e umidade (Tabela 6) e menor capacidade de infiltração (Tabela 8). Estes valores indicam a ocorrência de modificações na estrutura do solo, capazes de causarem redução na infiltração e aumento no escoamento superficial e erosão.

O Grupo 2, característico de áreas manejadas em recuperação, de valor intermediário de RP nos primeiros 20 cm de profundidade, apresentou indício de recuperação da estrutura física do solo

A Figura 16 mostra a variação da RP média com a profundidade do solo por grupo. As RPs médias foram plotadas a cada 5 cm de profundidade.

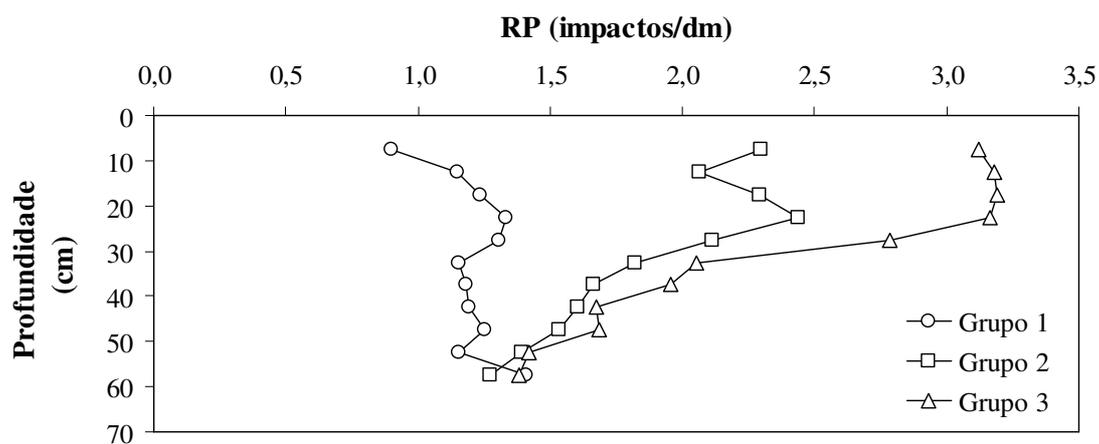


Figura 16 - Variação da resistência à penetração (RP) com a profundidade do solo

De acordo com a Figura 16 observa-se uma maior compactação nos solos do Grupo 3 e uma menor no Grupo 1. O Grupo 2 apresenta situação intermediária. A uma profundidade de 60 cm os solos de todos os grupos apresentam RPs semelhantes, indicando que as alterações antrópicas modificam a estrutura física do solo até esta profundidade.

4.6. Macro e microporosidade

As macro e microporosidades dos solos por local de amostragem estão na Tabela 11.

Tabela 11 - Macro e microporosidade dos solos por local de amostragem

Amostra	Macroporosidade (%)		Microporosidade (%)	
	Perfil (cm)		Perfil (cm)	
	0 - 10	10 - 20	0 - 10	10 - 20
R1A	16,60	14,66	50,52	21,30
R1B	8,43	4,16	43,60	28,46
T1A	4,54	18,09	58,17	59,48
T1B	-	10,14	-	51,13
T2A	6,52	1,91	54,43	53,18
T2B	14,87	-	46,64	-
T3A	11,40	18,22	53,97	11,17
T3B	16,83	6,49	46,46	58,35
T4A	18,50	18,15	35,52	42,05
T4B	13,82	7,09	47,11	46,62
T4C	14,96	4,01	44,73	37,80
T4D	1,21	7,24	47,15	78,93
T5	17,91	20,57	33,34	43,74
T6	21,93	6,16	37,83	40,38
T7	4,07	10,04	45,63	52,15
F1	23,29	40,03	25,97	36,52
F2	23,95	35,46	12,82	49,93
F3	22,42	26,18	27,37	53,20
F4	20,22	15,20	22,33	30,94

As distribuições dos poros por grupo são apresentadas na Tabela 12, com os respectivos valores médios os quais foram avaliados nas profundidades 10- 20 cm.

Tabela 12 - Valores médios da macroporosidade (MA) e microporosidade (MI) por profundidade e por grupo

Grupo	Profundidade (cm)/ MA (%)		Profundidade (cm)/ MI (%)	
	0-10	10-20	0-10	10-20
1	22,47a A	29,21aA	22,12a A	42,64a B
2	13,04b A	10,23b A	42,82b A	43,49a A
3	10,83b A	10,87b A	51,93b A	46,66a A

a, b,: médias entre linhas seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$); A, B médias entre colunas seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Em relação a variável macroporosidade verifica-se na Tabela 12, que o Grupo 1 difere dos demais grupos em ambos os perfis e os Grupos 2 e 3 não diferem. No mesmo grupo não ocorreu diferença significativa por perfil.

A quantidade elevada de matéria orgânica presente no Grupo 1 (Figura 13) contribui com o aumento de macroporos, levando a uma redução da resistência à penetração (Tabela 10) e, conseqüentemente, a um aumento da capacidade de filtração (Tabela 8).

Em relação à microporosidade observa-se que o Grupo 1 apresenta menor valor médio no perfil de 0 a 10 cm diferindo dos demais. No perfil de 10 a 20 cm observa-se um incremento nos valores médios do Grupo 1, não diferindo dos demais. Esse incremento deve-se, possivelmente, a redução dos teores de matéria orgânica com a profundidade. De acordo com os dados da Tabela 3, há um decréscimo linear dos teores médios de matéria orgânica na área de floresta com a profundidade, com $r^2 = 99,85\%$.

O maior teor médio de microporos associado aos menores teores médios de macroporos, observado na camada superficial do Grupo 3, resulta em uma maior retenção de água e uma menor capacidade de infiltração. Como nesta camada deste grupo há um menor teor de matéria orgânica (Figura 13), a água retida nesta camada é facilmente perdida por evaporação (Tabela 5).

A degradação da cobertura vegetal no Grupo 3 pode ter alterado a estrutura do solo, provocando redução nos macroporos e aumento dos microporos. Segundo Souza et al. (2004), um aumento da relação microporosidade/macroporosidade indica compactação na área, concordando com o aumento da resistência à penetração na camada superficial do Grupo 3 (Tabela 10). Para Souza e Alves (2003) e Silva et al. (2006), esta situação dificulta a infiltração e, possivelmente, o crescimento da vegetação.

De acordo com Kiehl (1979), solos com teores de micro e macroporosidade semelhantes e entre 20 e 30%, garantem suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água, adequadas para o desenvolvimento da vegetação. Estes valores foram observados nas camadas superficiais do Grupo 1, sendo importantes para o desenvolvimento e manutenção da vegetação de sub-bosque.

4.7. Macrofauna edáfica

Na Tabela 13 estão os números de indivíduos da macrofauna edáfica identificados no perfil de 30 cm de profundidade, durante os períodos seco e chuvoso, por local de amostragem.

Tabela 13 - Números de indivíduos da macrofauna edáfica identificados, no perfil de 30 cm, nos períodos chuvoso e seco, por local de amostragem (1 – *Hymenoptera*; 2 – *Oligochaeta*; 3 – *Isoptera*; 4 – *Larva*; 5 – *Coleóptera*; 6 – *Diplopóda*; 7 – *Chilópoda*; 8 – *Araneae*; 9 – *Orthoptera*; 10 – *Escorpiones*; 11 – *Lepidóptera*; 12 – *Pterygota*)

	Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL	
período chuvoso	R1A	1	0	2	6	0	0	0	1	2	0	0	1	13	
	R1B	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	
	T1A	1	3	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	9	
	T1B	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	6	
	T2A	1	1	8	3	1	0	0	0	0	0	0	0	14	
	T2B	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10
	T3A	8	0	5	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	16
	T3B	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	T4A	0	1	7	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	13
	T4B	8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
	T4C	7	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	T4D	3	0	8	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	14
	T5	3	3	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	18
	T6	2	2	5	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	13
	T7	3	4	3	0	3	1	0	1	1	0	0	0	0	16
	F1	3	9	0	5	5	2	0	0	0	0	0	1	0	25
	F2	18	10	0	7	1	0	2	1	2	0	0	0	0	41
	F3	3	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	21
	F4	9	20	0	2	2	0	0	1	0	0	0	2	0	36
	período seco	R1A	28	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	33
R1B		8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	
T1A		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
T1B		0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	4	
T2A		0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	4	
T2B		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
T3A		2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	
T3B		2	0	1	0	1	0	0	2	0	1	0	0	7	
T4A		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
T4B		4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
T4C		1	0	0	1	1	0	0	1	1	2	0	0	7	
T4D		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
T5		8	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	13	
T6		14	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	18	
T7		1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
F1		2	5	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	11	
F2		0	7	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	11	
F3		1	9	0	6	1	0	0	1	0	0	2	0	20	
F4		9	7	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	21	

A densidade da macrofauna edáfica por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, no perfil de 30 cm de profundidade, nos períodos seco e chuvoso, está na Figura 17.

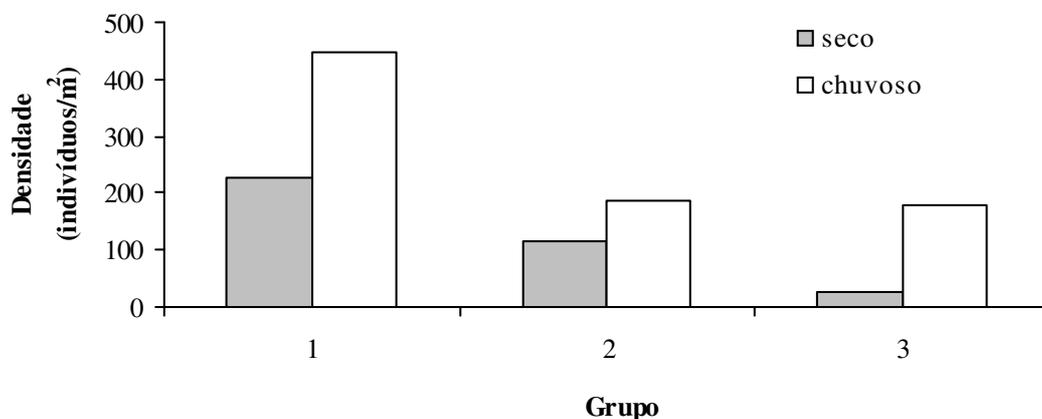


Figura 17 - Densidade da macrofauna edáfica por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, no perfil de 30 cm, nos períodos seco e chuvoso

De acordo com a Figura 17, observa-se no Grupo 1 a maior densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de solos, tanto no período seco quanto no chuvoso, de respectivamente 228 e 440 indivíduos/m²; o Grupo 2 apresentou densidade intermediária de respectivamente 116 e 188 indivíduos/m² e o Grupo 3, a menor, de respectivamente 27 e 178 indivíduos/m². Observa-se no Grupo 3 uma recuperação na densidade de indivíduos, do período seco para o chuvoso, para valor muito próximo do observado no período chuvoso do Grupo 2, mas inferior ao do Grupo 1 mesmo no período seco.

A densidade de indivíduos, por profundidade e por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, nos períodos seco e chuvoso, está na Figura 18.

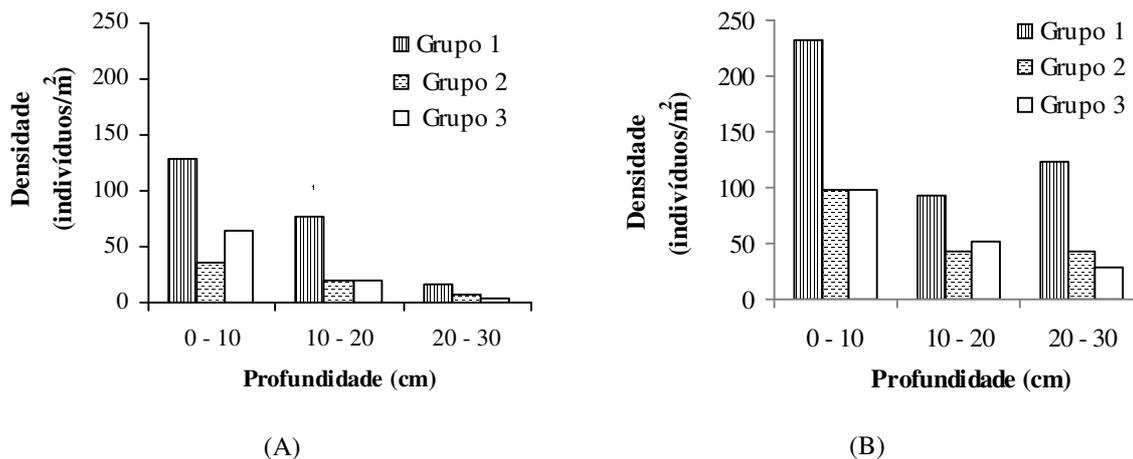


Figura 18 - Densidade de indivíduos, por profundidade e por grupo de solos de matéria orgânica quantitativamente semelhante, nos períodos seco (A) e chuvoso (B)

Observa-se que na profundidade de 0-10 cm, tanto no período chuvoso quanto no seco, ocorre uma maior densidade de indivíduos que nas demais profundidades (10-20 e 20-30 cm), sendo maior no Grupo 1, de 128 indivíduos/m² no período seco e 232 indivíduos/m² no período chuvoso. Nesta profundidade, nos períodos seco e chuvoso, o Grupo 2 apresenta densidade de indivíduos de respectivamente 36 e 99 indivíduos/m², e o Grupo 3 de respectivamente 64 e 98 indivíduos/m².

Entre as profundidades de 10-20 e 20-30 cm, no período seco, há um decréscimo na densidade de indivíduos em todos os grupos e no período chuvoso, há um aumento na densidade de indivíduos do Grupo 1, uma estabilização na do Grupo 2 e um decréscimo na do Grupo 3. Nestas profundidades, tanto no período seco quanto no chuvoso, o Grupo 1 apresenta os maiores valores.

As Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 mostram respectivamente a relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de matéria orgânica, umidade, capacidade de infiltração, resistência a penetração e macro e microporosidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso. Estes resultados mostram que a redução da densidade de indivíduos está associada à diminuição dos teores de matéria orgânica e umidade, da capacidade de infiltração e da microporosidade e a elevação da resistência do solo a penetração e da microporosidade.

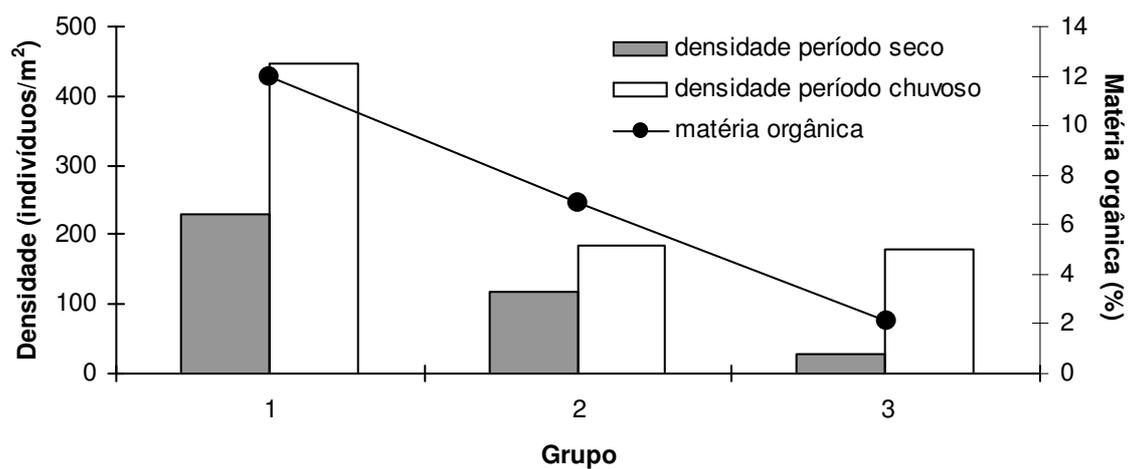


Figura 19 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de matéria orgânica, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

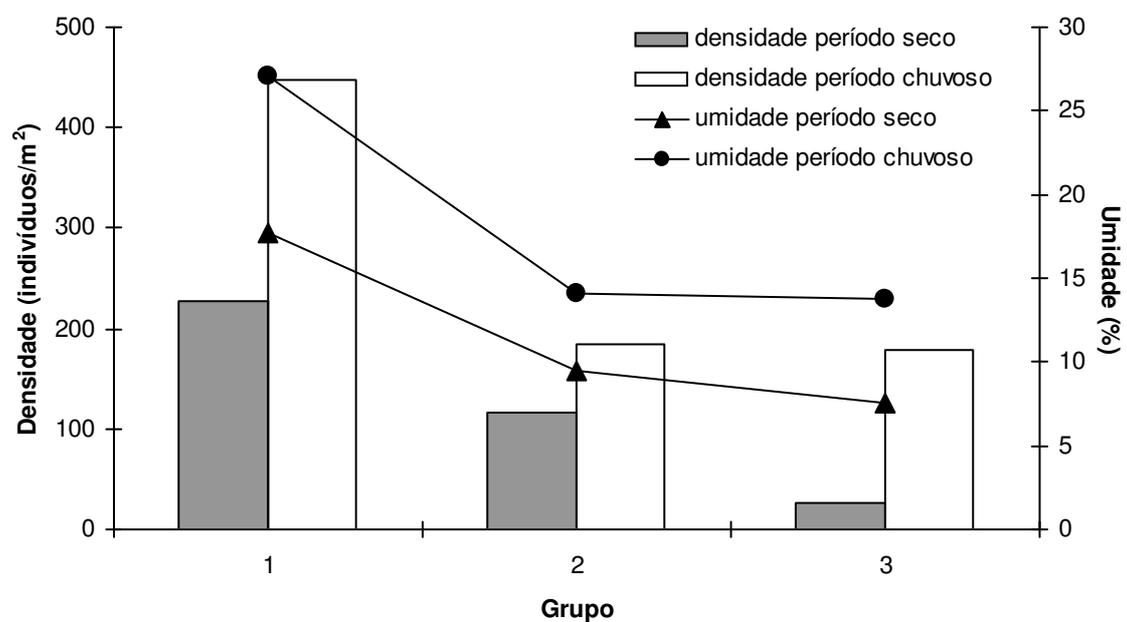


Figura 20 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de umidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

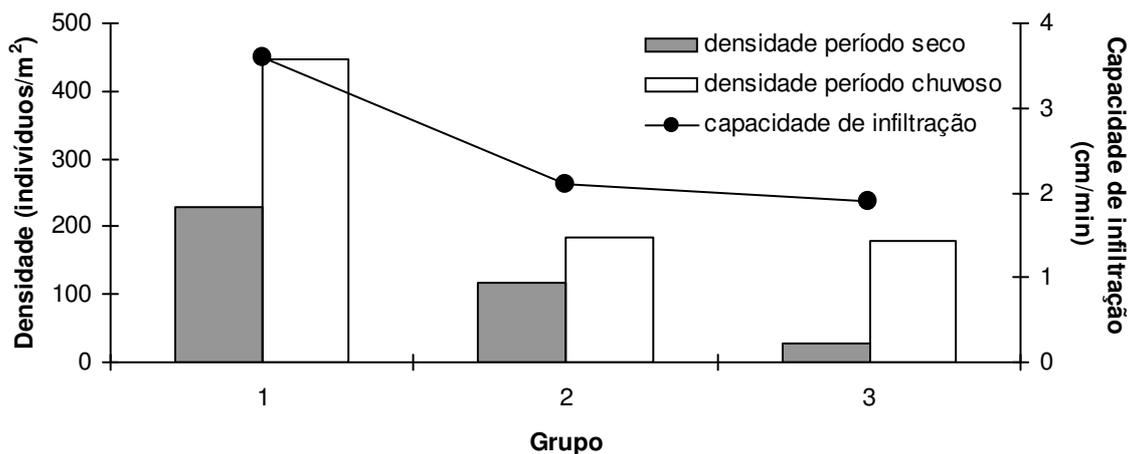


Figura 21 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de capacidade de infiltração, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

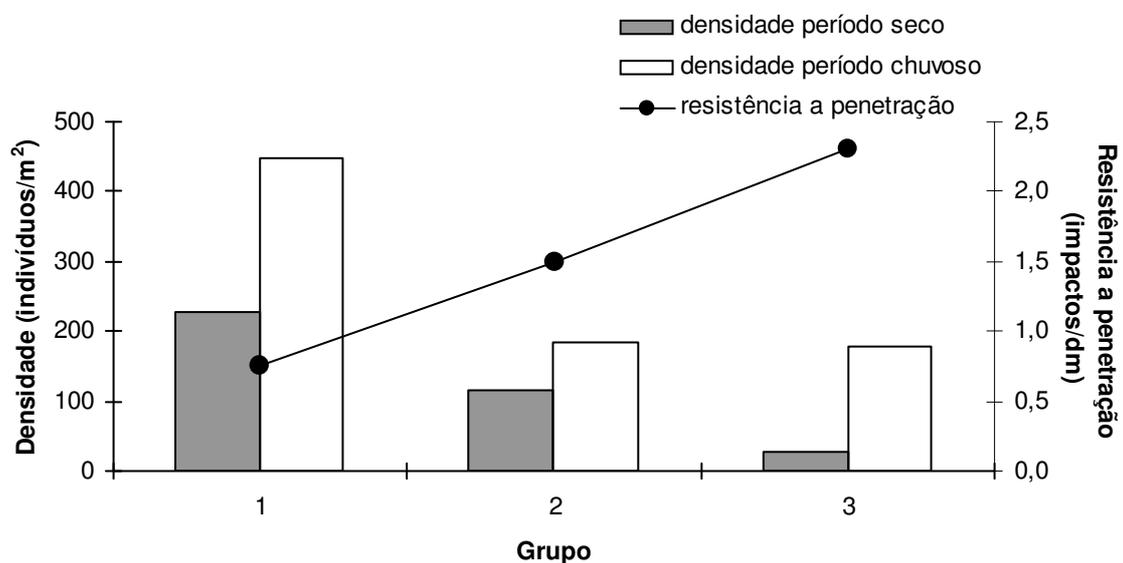


Figura 22 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de resistência à penetração, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

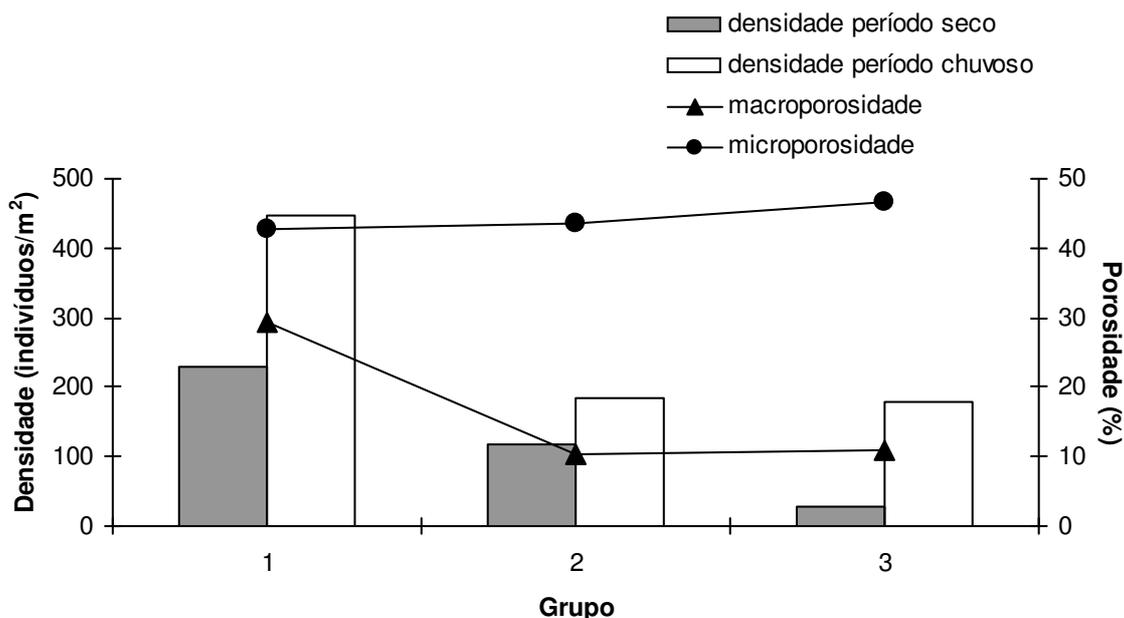


Figura 23 - Relação entre a densidade de indivíduos no perfil de 30 cm de profundidade e os valores médios de macro e microporosidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

Nas áreas antropizadas a redução nos teores de matéria orgânica (Figura 19), umidade (Figura 20) e capacidade de infiltração (Figura 21), associada à maior compactação (caracterizada por maior resistência a penetração na Figura 22 e menor macroporosidade na Figura 23), diminuem a população e dificulta a mobilidade da macrofauna edáfica no solo. Além do mais, segundo Primavesi (2002), o número de espécies e animais da macrofauna edáfica está relacionado a umidade e alimentação disponíveis, que estão diretamente relacionadas aos teores de matéria orgânica dos solos. Esta sensibilidade da macrofauna edáfica ao uso e manejo da vegetação e do solo também foi observada por Barros et al. (2001) e Silva et al.(2006).

Nas áreas preservadas, além das condições edafoclimáticas favoráveis, a macrofauna edáfica constrói galerias no solo que facilita a infiltração da água (Figura 21) e modifica a distribuição de poros levando a uma menor compactação (caracterizada por menor resistência à penetração, na Figura 22, e maior macroporosidade, na Figura 23).

Durante a classificação da macrofauna edáfica foram identificadas doze ordens taxonômicas (Figura 24): *Larvas*, *Hymenoptera* (formigas), *Oligochaeta* (minhocas), *Isoptera* (cupins), *Coleóptera* (coleópteros), *Diplópoda* (piolhos-de-cobra), *Chilópoda* (lacraias), *Araneae* (aranhas), *Orthoptera* (gafanhotos e grilos), *Escorpiones* (escorpiões), *Lepidóptera* (borboletas e lagartas) e *Pterygota* (insetos alados).

No Grupo 1 não foram encontradas as ordens *Isoptera*, *Escorpiones* e *Pterygota* e as ordens *Diplópoda* e *Chilópoda* só foram encontradas no período chuvoso. No Grupo 2 foram encontradas as doze ordens, mas as ordens *Oligochaeta*, *Isoptera*, *Diplópoda*, *Chilópoda* e *Lepidóptera* só foram encontradas no período chuvoso. No Grupo 3 não foram encontradas as ordens *Diplópoda* e *Chilópoda* e *Pterygota* e as ordens *Oligochaeta* e *Lepidóptera* só foram encontradas no período chuvoso.

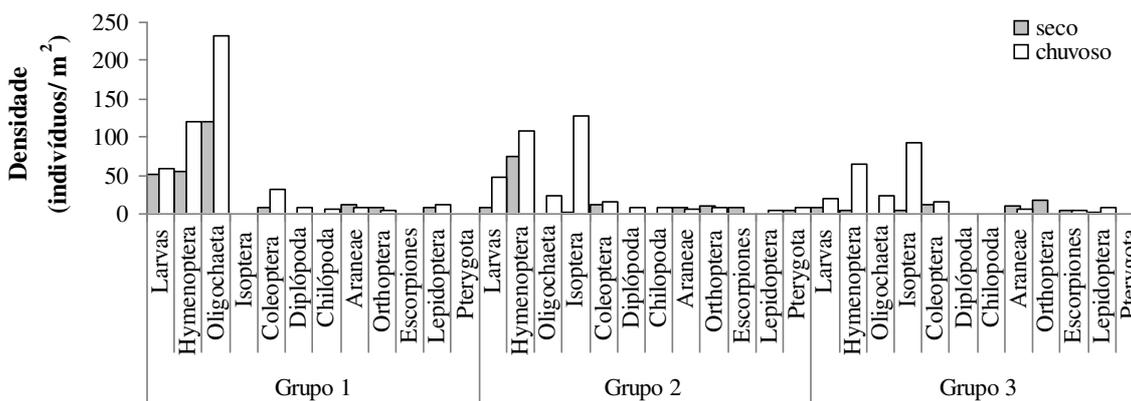


Figura 24 - Ordens taxonômicas da macrofauna edáfica identificadas no perfil de 30 cm de profundidade, por grupo de solos, nos períodos seco e chuvoso

Segundo Duccati (2002), as ordens taxonômicas *Diplópoda* e *Chilópoda* são comuns em áreas que apresentam teor elevado de umidade e vegetação densa e no período seco elas permanecem em estado de dormência. Estas ordens só apareceram durante o período chuvoso nos Grupos 1 (respectivamente 8 e 6 indivíduos/m²) e 2 (8 indivíduos/m² para ambas).

As ordens taxonômicas mais abundantes *Hymenoptera*, *Oligochaeta* e *Isoptera*, conhecidas como “Engenheiros dos Ecossistemas”, por desempenharem papel fundamental na qualidade e estrutura do solo, serão utilizadas no entendimento da dinâmica dos solos das áreas estudadas.

A ordem *Hymenoptera* é encontrada nos períodos seco e chuvoso em todos os grupos (no Grupo 1, respectivamente 56 e 120 indivíduos/m², no Grupo 2, 74 e 108 indivíduos/m² e no Grupo 3, 3 e 64 indivíduos/m²). Segundo Toledo (2003) e Primavesi (2002), esta é uma ordem que possui grande resistência às variações climáticas e contribui com o afrouxamento e enriquecimento do solo em cálcio.

A ordem *Oligochaeta* é predominante no Grupo 1 que possui solos com altos teores de matéria orgânica e umidade (120 indivíduos/m² no período seco e 232 indivíduos/m² no período chuvoso), contribuindo com a formação de bioporos que favorecem a elevação da macroporosidade (Figura 23) e da capacidade de infiltração (Figura 21). Nos Grupos 2 e 3, a ordem *Oligochaeta* só foi observada no período chuvoso (24 indivíduos/m² para ambos). No período seco, possivelmente encontrava-se em camadas de solos mais profundas, mais úmidas e de temperaturas mais brandas que nas camadas superficiais desprotegidas e expostas às intempéries.

Segundo Makeschin (1997), a redução da população de indivíduos da ordem *Oligochaeta* em áreas antropizadas (Grupos 2 e 3) deve-se a diminuição nos teores de matéria orgânica (Figura 19) e umidade (Figura 20) e à compactação dos solos (maior resistência à penetração na Figura 22), que produz aumento de microporos (Figura 23), acompanhado da formação de zonas anaeróbicas. Por outro lado, a presença desta ordem taxonômica em áreas manejadas pode ser indício da recuperação do solo devido à melhoria nas condições edafoclimáticas.

A ordem *Isoptera*, mais comum em solos desprotegidos, só foi encontrada nas áreas antropizadas (Grupos 2 e 3). A presença desta ordem pode ser um indicativo de solos compactados (PRIMAVESI, 2002). No Grupo 2 foi encontrada apenas no período chuvoso (128 indivíduos/m²) e no Grupo 3 nos períodos seco (3 indivíduos/m²) e chuvoso (92 indivíduos/m²).

5. CONCLUSÕES

As ações antrópicas na vegetação e no solo produzem danos ao funcionamento biodinâmico dos solos, reduzindo direta e indiretamente o teor de matéria orgânica, a umidade, a capacidade de infiltração, a densidade de indivíduos da macrofauna edáfica e a macroporosidade e aumentando a resistência à penetração do solo e a microporosidade, contribuindo com menor infiltração de água.

Neste contexto, as áreas de recarga submetidas a manejo florestal, principalmente em regiões semi-áridas, deverão ser consideradas unidades de gerenciamento no manejo da vegetação e do solo, sujeitas a estudos e monitoramento contínuo. Os planos de manejo devem ser desenvolvidos utilizando metodologias que contemplam monitoramento e pesquisas contínuas sobre a dinâmica da matéria orgânica e da umidade, a manutenção da integridade física e a evolução da capacidade de infiltração dos solos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C e CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

ALVES, M.C. e CABEDA, M.S.V. Infiltração em um Podzólico Vermelho- Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p. 139-145, 1999.

AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, Areias, 90 f, 1982.

ANDERSON, J.M.; INGRAN, J.S. **Tropical biology and fertility: a handbook of methods**. 2ª ed. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureau, p. 221, 1993.

ARAÚJO, M.A; TORMENA, C.A e SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob Mata Nativa. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.28, p. 337-345, 2004.

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A.; LAVELLE, P. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. **Geoderma**, v.100, p.193–213, 2001.

BERTI FILHO, E. **Cupins em florestas**. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, L.R. (Ed.). *Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins*. Piracicaba: FEALQ, p.127-140, 1995.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola, Piracicaba**, v. 58, n. 3, p. 55-560, 2001.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LIEVEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solos com crosta superficial. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 13, p. 373-379, 1989.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone., 355p, 1999.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. e PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-177, 2001.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5 ed. São Paulo: F. Bastos, p.647, 1989.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa: Ed. UFV, p. 120, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 4.771 de 15 de Setembro de 1965**, incluído pela medida provisória de nº 2.166-67 (Código Florestal), Brasília, DF: Senado, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 9.985 de 18 de Julho de 2000**. Brasília: Senado, 2000.

CALOURO, F. **Atividade agrícola e ambiente**. 1 ed. Porto: SPI (Sociedade Portuguesa de Inovação), 2005.

CARVALHO JÚNIOR, J.; BRAGANÇA, R.; RIBEIRO, E.; BENITES, V. **Comparação entre os Métodos de Determinação do Carbono Orgânico do Solo e das Frações Húmicas Compact**. disk. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. Informação, Globalização Uso do Solo. Trabalhos. Rio de Janeiro: SBCS/ EMBRAPA, 1997.

CARVALHO, O.L.; AQUINO, B. F.; FRISCHKORN, H.; AQUINO, M.D.; FONTENELE, R.E.S. **Tecnologia agrícola e de conservação ambiental para o topo da Chapada do Araripe**. Relatório Técnico Final. Fortaleza: BNB/FINEP – ACEP, p.232, 1999.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J e ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistemas agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.11, p. 1153-1155, 2004.

CASA GRANDE, A.A. **Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar**. In: MORAES, M.H.; M.M.L.; FOLONI, J.S.S. (Ed.). Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de prepare e manejo do solo. Jaboticabal: FUNEP, p. 150-97, 2001.

CAVALCANTI, A.C.; LOPES, O.F. **Condições edafoclimáticas da Chapada do Araripe e viabilidade de produção sustentável de culturas**. Brasília: Embrapa, 1994.

CENTURION, J.F.; CARDOSO, J.P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CHENG, J.D.; LIN, L.L.; LU, H.S. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v. 165, p. 11-28, 2002.

COSTA, F.P.M.; NISHIYAMA, L. Caminhos da Geografia. **Revista on line**, Uberlândia, v. 8, n. 24, p. 131-143, 2007. ISSN 1678- 6343. Disponível em <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 21 de agosto de 2007.

DAVIES, B.E. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings**, n. 38, p. 347-353, 1974.

DECAENS, T.; LAVELLE, P. JIMENEZ JAEN, J.J; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G. Soil macrofauna in the oriental llanos of Collombia. **European journal of soil biology**, v. 30, n. 4, p.157-168, 1994.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.;COLEMAN, D.C.; BELDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (org.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 3-21, 1994.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécies da mata atlântica**. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, p 70, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

ESCOSTEGUY, P. A.V.; GALLIASSI, K.; CERETTA, C.A. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 31, p. 247-255, 2007.

FARIA, J.C.; SCHAEFFER, C.E.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M.. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.22, p. 731-741, 1998.

FIGUIEREDO, C.C.; RAMOS, M.L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Biosciência Jornal**, Uberlândia, v. 24, p. 24-30, 2008.

FISHER, R.F.; BINKLEY, D. **Ecology and management of forest soils**. 3. ed. London: John Wiley, p.489, 2000.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; JÚNIOR, V.V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113- 121, 2006.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Degaspari, p.477, 2000.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. **Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores**. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, p.1-49, 2000.

GOUDIE, A. **The human impact on the natural environment**. 4. ed. Oxford: Blackwell Publishers, 1993.

GUERRA, A. J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (org) **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-56, 1999.

HARADA, A.Y.; BANDEIRA, A.G. Densidade e distribuição vertical de macroinvertebrados em solos argilosos e arenosos na Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p.191-204, 1998.

HOAD, S.P.; RUSSEL, G.; LUCAS, M.E.; BINGHAM, I.J. The management of wheat, barley, and oat root systems. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 195-254, 2001.

IBAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Normativa n° 93 de Março de 2006**. Brasília, MMA, 2006.

IBAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Normativa n° 03 de Maio**. Brasília: MMA, p 20, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**, 1961 – 1990. Brasília: INMET, 1993.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 35, p.1493-1500, 2000.

JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Boletim Técnico, 28. Recife, MA/DNPEA – Sudene/DRN, v. 2, 1973.

KEMPER, K.E.; GONÇALVES, J.Y.B.; BEZERRA, F.W.B. **Um sistema local de gerenciamento e alocação de água – o caso da fonte da Batateira no Cariri – Ceará, Brasil**. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 11, 1995, Recife. Anais. Recife: ABRH, v. 2, p. 63-68, 1995.

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

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Tese. (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba. 150 f, 1998.

KLEIN, V.A.; LIMBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, p. 945-953, 2002.

KONEN, M.E.; JACOBS, P.M.; C.L.; TALAGA, B.J & MASON, J.A. Equations for predicting soil organic carbon using loss- on ignition for North Central U.S. Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.66: p. 1878-1881, 2002.

KUCZERA, G. Prediction of water yield reductions following a bushfire in ash-mixed species eucalyptus forest. **Journal of Hydrology**, n. 94, p. 215-236, 1987

LAURINDO, M. C.O. **Propriedades físicas do solo e matéria orgânica em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 47 f, 2006.

LAVELLE, P. Functional domains in soils. **Ecological Research**, v.17, p. 441-450, 2002.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V.; LOPEZHERNANDEZ, D.; PASHANASI, B.; BRUSSAARD, L. **The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility**. In: WOOMER, P.; SWIFT, M.J. (Eds.). *The management of the tropical soil biology and fertility*. New York: Wiley-Sayce Publication, p.137-169, 1994.

LAVELLE, P.; SENAPATI, B.; BARROS, E. **Soil Macrofauna**. In: SCHROTH, G, SINCLAIR, F.L. (Eds.). *Trees, Crops and Soil Fertility: concepts and research methods*. Chapter 16, p. 303-323, 2003.

LEITE, E.P.F.; FIGUEIREDO, M.A.; SILVA, Z.R. Avaliação da evapotranspiração real do solo em áreas desmatadas e não desmatadas na Chapada do Araripe no município de Santana do Cariri – Ceará. **Caatinga**, n.7, p. 256-265, 1990.

LIMA, D.A. **Plantas das caatingas**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989.

LIMA, D.A. **Plantas das caatingas**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1989.

MAKESCHIN, F. **Earthworms (Lumbricidae: Oligochaeta): important promoters of soil development and soil fertility**. In: BENCKISER, G. (Ed.). *Fauna in soil ecosystems: recycling processes, nutrient fluxes, and agricultural production*. New York: Marcel Dekker, p.173-223, 1997.

MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. e SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999.

MARQUES, J.D.O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação cm camadas hidráulicas do solo**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba. 86 f, 2000.

MENDONÇA, L.A.R. **Recursos hídricos da Chapada do Araripe**. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. p. 193, 2001.

MENDONÇA, L.A.R.; VÁSQUEZ, M.A.N.; FEITOSA, J.V.; OLIVEIRA, J.F.; FRANCA, R.M.; VÁSQUEZ, E.M.F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n 1, p. 89-98, 2009.

NELSON, D. W e SOMMERS, L.E. **Total carbon, organic carbon, and organic matter**. In SPARKS, D L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M. E., (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*. 2. ed. Madison, SSSA-ASA, p. 961-1010,1996

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico- química de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p. 327-336, 2004.

OLIVEIRA, J.O.A.P.; VIDIGAL FILHO, P.S.; TORMENA, C.A.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; MUNIZ, A.S. e SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 443-450, 2001.

PASCHOAL, A.D.; MONTEIRO, A.R.; FERRAZ, L.C.C.B. **Animais de interesse agrícola, veterinário e médico: apontamentos práticos de zoologia e parasitologia**. Piracicaba: DECALQ, p.224, 1992.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S.; GOMES, A.S. e TURATTI, A.L. Resistência mecânica à penetração de

um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 521-529, 2001.

PLANO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Notícias**. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em 25 de out, 2009.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Ed. SAEAFS. Curitiba, p. 446, 1996.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, p. 543, 2002.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L.; RODRIGUÊS, L.N.; ANTUNES, V.L. **Infiltração de água no solo**. Caderno didático, p.26, 1997.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e de energia em ecossistemas**. 2 ed. Piracicaba: USP/ESALQ. p. 505, 1996.

ROBERTS, S.; VERTESSY, R.A.; GRAYSON, R. Transpiration from Eucalyptus sieberi (L. Johnson) forests of different age. **Forest Ecology and Management**, v. 143, n. 1, p. 153-161, 2001.

SAMPAIO, F.M.T.; MENEZES, S.M.; FURTINI, M.B.; RIBEIRO, K.D. Correlações entre a permeabilidade e os atributos físicos do solo da sub-bacia do córrego centenário da cidade de Lavras - MG. **Ciência Agrotec**, Lavras, v.30, n.4, p.798-803, 2005.

SCHNEIDER, J.; SOLER, M.A.; BARETTA, D.; LEITE, D.; MAFRA, A.L.; NAGAOKA, A.N. **Taxa de infiltração e resistência ao penetrômetro em semeadura direta com diferentes profundidades de sulcamento**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD-Rom.

SILVA, D.D.; PAIVA, K.W.N.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFFER, C.E.G.R.; AMORIM, R.S.S. Escoamento superficial para diferentes intensidades de chuva e porcentagens de

cobertura num Podzólico Vermelho Amarelo com preparo e cultivo em contornos. **Engenharia Agrícola**, v. 2, n.1, p. 12-22, 2001.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo**. In: NOVAES, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 275-374, 2007.

SILVA, M.A.S; ALBUQUERQUE, J.A. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, n.3, v.35, 2005.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F. e COSTA, L.M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n.4, p.842-847, 2006.

SILVA, V.R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, p. 171, 2003.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M. A.C.; PAULINO, H.B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.11, v.4, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, Z.M. e ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Bras. de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

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

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendações para uso de penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar- Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMC - Planasulcar, p. 8, 1983. (Série Penetrômetro de Impacto, BT1).

STONE, L.F. e SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Comparação do solo na cultura do feijoeiro – I: Efeitos nas propriedades físicas - hídricas do solo. **Revista Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p. 207-212, 2002.

TAPIA-CORAL, S.C. **Macro-invertebrados do solo e estoques de carbono e nutrientes em diferentes tipos de vegetação de terra firme na Amazônia peruana**. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonas/Universidade Federal do Amazonas, p.159, 2004.

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

TOLEDO, L.O. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de florestas secundárias no município de Pinheiral, RJ**. Seropédica, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio Janeiro, p. 80, 2003.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 2, v. 20, p. 333-339, 1996.

VERTESSY, R.A.; WATSON, F.G.R.; O’SULLIVAN, S.K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. **Forest Ecology and Management**, v. 143, n. 1, p. 13-26, 2001.

VERTESSY, R.A. et al. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. **Tree Physiology**, v. 15, p. 559-567, 1995.

VOMOCIL, J.A. **Porosity**. New York: Academic, 1965.

WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and fertility of soil**, v. 31, p.1-19, 2000.