



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS

SERVIÇOS AMBIENTAIS GERADOS PELA FLORESTA DE MATA  
ATLÂNTICA NA QUALIDADE DO SOLO

**JULIA KISHIDA BOCHNER**

**ORIENTADOR**

**MARCOS BACIS CEDDIA**

Seropédica, RJ  
Janeiro, 2007.

**JULIA KISHIDA BOCHNER**

**SERVIÇOS AMBIENTAIS GERADOS PELA FLORESTA DE MATA  
ATLÂNTICA NA QUALIDADE DO SOLO**

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

*Sob a orientação do Professor*

**MARCOS BACIS CEDDIA**

Seropédica, RJ  
Janeiro, 2007.



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS

SERVIÇOS AMBIENTAIS GERADOS PELA FLORESTA DE MATA  
ATLÂNTICA NA QUALIDADE DO SOLO

Monografia aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

**PROF. Dr. Marcos Bacis Ceddia**  
**ORIENTADOR**  
**DS/IA/UFRRJ**

---

**PROF. Dr. Marcos Gervasio Pereira**  
**Membro Titular**  
**DS/IA/UFRRJ**

---

**Pesq. Dr. Luiz Antonio da Silva**  
**Membro Titular**  
**JBRJ/Programa Mata Atlântica**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Reynaldo e Elisa  
pelo apoio e amor incondicional

Ao meu eterno amado, Rafael  
pelo amor, companheirismo e compreensão

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela saúde e força para enfrentar os desafios;

Aos meus pais Reynaldo e Elisa, ao meu irmão Joel e ao meu sobrinho Pedrinho, pelo apoio, suporte e confiança em mim;

Ao meu eterno companheiro de todas as horas, Rafael, por ter me ajudado no desenvolvimento deste trabalho e pelo amor, incentivos e conselhos nos momentos difíceis;

Ao professor, Marcos Bacis, pela orientação, dedicação e ensinamentos;

Ao amigo Milton e demais colegas, pela amizade e ajuda nas coletas de campo;

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica que auxiliou na concretização do estudo;

A Universidade Federal Rural pela oportunidade de realização da graduação em Engenharia Florestal, um curso fascinante;

A todo corpo docente do curso de Floresta e do Departamento de Solos/IA, em especial aos professores Ricardo Valcarcel, Hugo Amorim e Marcos Gervásio, pela amizade, paciência e pelos valiosos conhecimentos adquiridos;

Aos grandes amigos que conquistei na Universidade (ficaria difícil listar todos os nomes), pela amizade, convivência e colaboração;

A todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a minha formação e realização deste trabalho, muito abrigada!!!

## RESUMO

O ponto de partida para a valoração dos serviços ambientais gerados pelas florestas consiste no desenvolvimento de técnicas capazes de comprovar esses serviços, que antes eram tratados apenas qualitativamente. Dentro deste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar atributos físicos e químicos do solo passíveis de serem utilizados como indicadores dos serviços ambientais gerados pela floresta de Mata Atlântica na qualidade do solo. O estudo foi desenvolvido em uma microbacia hidrográfica na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Sana, Macaé/RJ. A avaliação da qualidade do solo foi efetuada em três áreas pertencentes à mesma classe de solo (CAMBISSOLO HÁPLICO), porém com distintos tipos de uso - Mata Atlântica, pastagem e agricultura (plantio de banana). Foram avaliados atributos físicos do solo (estabilidade de agregados, densidade do solo, porosidade, resistência à penetração e infiltração) e atributos químicos do solo (carbono orgânico, CTC, pH,  $H^+ + Al^{+3}$ , bases trocáveis, fósforo disponível,  $Al^{+3}$  e V%). As principais modificações na qualidade do solo decorrentes dos usos pastagem e plantio de banana foram: diminuição do teor de carbono no solo, refletido pela redução dos valores do diâmetro médio ponderado dos agregados; aumento da densidade do solo, com conseqüente diminuição da porosidade e da infiltração de água e a formação de uma camada compactada na parte superficial do solo, tornando-o mais suscetível à erosão. Constatou-se que todos os atributos físicos escolhidos foram adequados para serem usados como indicadores da qualidade do solo. No entanto, considerando os critérios de escolha de indicadores (sensibilidade ao manejo, correlação com processos e facilidade de determinação) o atributo físico infiltração de água no solo, determinado por meio do permeâmetro de Guelph (IAC - modificado) é o mais recomendado para ser utilizado como indicador, uma vez que este atributo integra as demais características físicas do solo, permitindo, desta forma, avaliar os serviços ambientais gerados pela floresta. Do ponto de vista químico os teores de carbono orgânico e fósforo (P) no solo foram os atributos que mais evidenciaram os serviços da floresta na qualidade química do solo. Desta forma, o estudo demonstrou a importância da Mata Atlântica no tocante da manutenção da qualidade do solo, e ainda, auxiliou na compreensão das alterações que podem ocorrer no solo em virtude das mudanças nos tipos de uso.

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade, uso do solo, APA do rio Sana

## ABSTRACT

The environmental services valuation depends on the development of techniques able to prove these services. The purpose of this work was to evaluate chemical and physical soil attributes in order to be used as soil indicators of the environmental services offered by an Atlantic Forest. The studied sites are located in a watershed belongs to Environmental Protected Area of Sana River, in Macaé/RJ. The evaluation of the soil quality was made in three areas under the same soil class (CAMBISSOLO HÁPLICO), but with different uses – Atlantic Forest, pasture and agriculture system (banana crop). It was evaluated physical properties of the soil (stability of the aggregates in water, bulk density, porosity, resistance to penetration and infiltration) and chemical properties of the soil (organic carbon content, cation exchange capacity, pH in water,  $H^+ + Al^{+3}$ , exchangeable bases ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ), available phosphorus,  $Al^{+3}$ , V%). The main changes in soil quality resulting from the use of pasture and agriculture were: decrease of soil organic carbon content, demonstrated through the reduction of the mean weight diameter of water-stable aggregates; increase of bulk density, with reduction of porosity and water's infiltration; and increase of resistance to penetration, making the soil more susceptible to erosion. The soil physical attributes evaluated were considered suitable to be used as soil quality indicators. However, considering the criterions to select sustainable indicators (sensitivity to management, correlation to process and easiness of determination), soil water infiltration attribute, determined by IAC Modified Guelph Permeameter, was considered more suitable to be used as soil indicator, since infiltration represents the integration of all the others soil physical attributes evaluated. Soil organic carbon and available phosphorus were considered the most important attributes as soil indicator so as to they are both related to soil organic dynamics and nutrients cycling. Thus, this study demonstrated the importance of Atlantic Forest on the maintenance of the soil quality, and helped to understand the modifications that different land uses can caused on soil quality.

Key-words: Sustainable indicators, land use, Environmental Protected Area of Sana River

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Indicadores da Qualidade do Solo.....	3
2.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento .....	4
2.3 Serviços Ambientais.....	6
2.4 Impacto de Diferentes Tipos de Uso do Solo .....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Características Gerais da APA do Rio Sana .....	10
3.1.1 Localização da área de estudo.....	10
3.1.2 Clima.....	10
3.1.3 Domínios geomorfológicos e de solos da bacia do rio Sana.....	10
3.1.4 Domínios vegetacionais .....	11
3.2 Seleção da microbacia hidrográfica e das parcelas amostrais .....	11
3.3 Determinação dos Atributos Físicos da Qualidade do Solo .....	15
3.3.1 Análise granulométrica .....	15
3.3.2 Estabilidade de agregados.....	15
3.3.3 Densidade do solo.....	16
3.3.4 Porosidade total e distribuição dos poros .....	16
3.3.5 Resistência à penetração .....	16
3.3.6 Determinação do teor de umidade dos solos.....	17
3.3.7 Infiltração de água no solo .....	17
3.4 Determinação dos Atributos Químicos da Qualidade do Solo .....	18
3.4.1 Conteúdo de carbono orgânico do solo .....	18
3.4.2 Análise química do solo.....	18
3.5 Correlação entre variáveis .....	19
3.6 Análise estatística.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
4.1 Análise granulométrica do solo.....	20
4.2 Carbono Orgânico do solo e Diâmetro Médio Ponderado .....	20
4.3 Densidade do solo .....	23
4.4 Porosidade Total e Distribuição dos Poros.....	25
4.5 Resistência do solo à penetração.....	28
4.6 Infiltração de Água no Solo .....	33
4.7 Características químicas dos solos .....	35
5. CONCLUSÕES .....	38
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo .....	10
Figura 2: Perfil esquemático da geomorfologia da bacia do rio Sana .....	11
Figura 3: Percentagens dos diferentes tipos de uso do solo .....	12
Figura 4: Posicionamento das áreas de estudo dentro da microbacia hidrográfica Glória. ....	12
Figura 5: Delimitação das áreas de floresta, pastagem e agricultura.....	13
Figura 6: Área de floresta (Mata Atlântica). .....	14
Figura 7: Área de agricultura (plantio de banana). .....	14
Figura 8: Área de pastagem. ....	15
Figura 9: Penetrógrafo utilizado para a realização dos testes de resistência à penetração. ....	17
Figura 10: Permeâmetro de Guelph. ....	18
Figura 11: Carbono orgânico do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades do solo. ....	21
Figura 12: Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados nos diferentes tipos de uso do solo e profundidades. ....	22
Figura 13: Correlação entre Carbono orgânico do solo (C-org) e Diâmetro Médio Ponderado dos agregados (DMP).....	23
Figura 14: Densidade do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades.....	24
Figura 15: Porosidade total do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades. ....	25
Figura 16: Macro e microporosidade do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades. ....	26
Figura 17: Porosidade total e macroporosidade em razão da densidade do solo .....	27
Figura 18: Gráficos registrados pelo penetrógrafo na área de floresta .....	30
Figura 19: Gráficos registrados pelo penetrógrafo na área de pastagem.. ....	31
Figura 20: Gráficos registrados pelo penetrógrafo na área de plantio de banana.....	32
Figura 21: Infiltração de água no solo nos diferentes tipos de uso.....	34

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Análise granulométrica nos diferentes tipos de uso e profundidades.....	20
Tabela 2: Resistência do solo a penetração nos diferentes tipos de uso e profundidades.....	28
Tabela 3: Teores de umidade do solo (%) nos diferentes tipos de uso e profundidades. ....	29
Tabela 4: Valores de pH, P disponível e complexo sortivo de solos sob diferentes tipos de uso, média de sete repetições.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos principais motivos da degradação de recursos naturais fundamentais para a sobrevivência do homem, como o solo e a água, tem sido o uso e manejo da terra de maneira irracional, sem avaliação prévia das suas potencialidades e limitações (LEONARDO, 2003). A erosão é um dos resultados do manejo inadequado do solo, do desmatamento, queimadas e inadequação de práticas conservacionistas, tendo como conseqüências a perda gradativa do potencial produtivo do solo e a degradação dos recursos hídricos.

Os serviços ambientais desempenhados pelas florestas são fundamentais na manutenção do equilíbrio do ecossistema. Dentre os benefícios gerados pelas florestas destacam-se a ciclagem de nutrientes, a proteção da diversidade biológica, o armazenamento e a captura de CO<sub>2</sub> e a conservação da água e do solo.

O fato dos serviços ambientais gerados pelas florestas se constituírem em bens públicos, contribui para o uso indiscriminado e irracional dos recursos naturais. A valoração dos serviços ambientais gerados pela floresta pode se tornar um meio eficiente de preservação dos exíguos fragmentos florestais do bioma da Mata Atlântica, pois a partir do reconhecimento dos benefícios prestados, a sociedade torna-se mais sensível as questões ambientais e a melhoria da qualidade do meio ambiente.

A grande limitação da valoração dos serviços ambientais deve-se a dificuldade e ao caráter subjetivo de atribuir um valor monetário a esses serviços intangíveis. Atualmente, os economistas têm adotado a técnica da pesquisa de valor contingente onde mercados hipotéticos de bens e serviços ambientais são apresentados para identificar, através de pesquisa de questionários, a disposição a pagar dos usuários pela preservação ou melhoria ambiental desses recursos (YOUNG & FAUSTO, 1997).

Um ponto de partida para superar esta limitação consiste na realização de pesquisas capazes de comprovar os reais serviços gerados pelas florestas na conservação do solo e da água. Meios capazes de quantificar e qualificar esses benefícios servem como suporte para a implementação de um “mercado ambiental”.

O solo está diretamente ligado à dinâmica da água em uma microbacia hidrográfica, constituindo-se em um fator determinante na manutenção do equilíbrio hidrológico do sistema. Desta forma, torna-se importante avaliar os serviços ambientais das florestas referentes à preservação da qualidade do solo.

A qualidade do solo pode ser entendida como a capacidade do solo em exercer suas funções ecológicas e hidrológicas (DORAN *et al.*, 1996). Sua avaliação é bastante complexa devido à multiplicidade de inter-relações entre atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos relacionados à sua variação no tempo e no espaço (MENDES *et al.*, 2006). Dentre as propriedades que comandam a qualidade do solo, os atributos físicos apresentam vantagens, devido, principalmente ao baixo custo e facilidade de determinação, além de sua relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo.

A sustentabilidade do solo pode ser estimada por avaliações de indicadores relacionados a processos e propriedades. Os diferentes indicadores devem ser cuidadosamente escolhidos em relação aos objetivos e devem ser devidamente analisados e interpretados. Indicadores físicos, químicos e biológicos são capazes de prover uma medida das condições do solo, assim como a magnitude e direção dos processos predominantes (LAL, 1999). Embora existam vários atributos dos solos que possam ser usados como indicadores, nem todos

atendem alguns critérios como sensibilidade às alterações de manejo, integração com as funções do solo, praticidade e baixo custo de determinação.

O presente estudo teve como objetivo avaliar os possíveis serviços ambientais prestados pela floresta de Mata Atlântica na qualidade do solo, por meio da avaliação de diferentes indicadores físicos e químicos do solo, em uma microbacia hidrográfica na APA do rio Sana, Macaé/RJ. Para tanto, selecionou-se três áreas com tipos de uso distintos – floresta (Mata Atlântica), pastagem e agricultura (plantio de banana), objetivando contrastar o efeito de cada uso na qualidade do solo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Indicadores da Qualidade do Solo

Indicadores ambientais são atributos mensuráveis do ambiente que podem ser monitorados através de observações de campo, amostragem de campo, sensoriamento remoto, por compilações de dados pré-existentes ou através da combinação desses métodos (WALKER & REUTER, 1996). Um indicador apropriado é aquele que provê uma medida quantitativa da magnitude e intensidade do estresse ambiental experimentado pelos organismos (LAL, 1999).

De acordo com ADRIAANSE (1993) os indicadores servem para ajudar os pesquisadores a simplificar, quantificar, analisar e comunicar informações aos diferentes níveis da sociedade sobre fenômenos complexos.

Segundo OAKLEY (1991) os indicadores devem apresentar algumas características: devem ser simples e de fácil mensuração; aplicáveis em diferentes escalas; extrapoláveis; versáteis (prover uma medida de vários processos e atributos inter-relacionados); relevantes às condições ecológicas e dirigidos a processos.

Os indicadores devem ser vistos como uma ferramenta de informação e podem ser qualquer variável ou componente do ecossistema (LEONARDO, 2003). No entanto, a escolha dos indicadores é diretamente dependente dos objetivos e do contexto.

A seleção de indicadores dependerá também dos níveis e escalas da análise dos componentes e etapas do processo que se pretende monitorar, isto porque segundo a escala de análise (parcela, bacia hidrográfica) surgem diferentes fatores (econômicos, sociais, tecnológicos ou ambientais) que modulam o desenvolvimento e a sustentabilidade e, conseqüentemente, os indicadores necessários para monitorar o processo (WINOGRAD, 1995). Segundo o mesmo autor, os indicadores devem ajudar os tomadores de decisão a avaliar as oportunidades desperdiçadas e os benefícios obtidos em relação às necessidades sócio-econômicas, ambientais e políticas.

De acordo com ISLAN & WEIL (2000) a qualidade do solo pode ser definida como a capacidade do solo em desempenhar a sua função em um ecossistema para suportar plantas e animais, resistir à erosão e reduzir impactos negativos associados aos recursos água e ar. Assim, a qualidade do solo consiste em um estado funcional complexo e, portanto, não pode ser medida diretamente, porém pode ser inferida por meio de propriedades do solo designadas como propriedades indicadoras da qualidade do solo.

ACTON & PADBURY (1993) definiram atributos da qualidade do solo como propriedades do solo mensuráveis, as quais influenciam na produtividade (desempenho de produção) ou nas funções ambientais. Segundo os mesmos autores, os atributos do solo são úteis na definição da qualidade do solo e servem como indicadores de mudanças na sua qualidade.

Os indicadores mais apropriados são aqueles atributos mais sensíveis ao sistema de manejo. Segundo KARLEN *et al.* (1994), as práticas de manejo que propiciam um aumento ou manutenção de carbono orgânico no solo são importantes para restabelecer, manter ou melhorar a qualidade do solo, pois propiciam um aumento na disponibilidade de nutrientes e melhoram as propriedades físicas e químicas do solo.

De acordo com CARTER (2002), uma quantidade considerável de trabalhos científicos referentes a indicadores da qualidade do solo vem utilizando um quadro seqüencial de avaliação, de tal forma que seja possível responder questões específicas, tais como:

- a) Proposta – para que o solo é usado (Ex: agricultura, regime hídrico em bacias hidrográficas);
- b) Funções – quais funções específicas espera-se do solo (Ex: disponibilidade de nutrientes, regulação do armazenamento e fluxo de água em bacias hidrográficas);
- c) Processos – quais processos chave suportam cada uma das funções (ex: reserva de nutrientes, infiltração, retenção de água) e;
- d) Atributos ou propriedades – quais são os atributos chave em cada processo (saturação de bases, taxa de infiltração básica, água disponível total);

De acordo com esta abordagem, a avaliação da qualidade do solo deve ter como base a seqüência apresentada acima, ou seja, é preciso, inicialmente, definir para que se pretende utilizar o solo (proposta); as funções do solo envolvidas nessa proposta; os processos relacionados a essas funções, e por último, os atributos do solo que permitem a avaliação dos processos apresentados.

Alguns indicadores são capazes de promover uma medida das condições do solo, bem como a magnitude e direção de processos, são eles: indicadores físicos, químicos e biológicos (LAL, 1999).

Os atributos físicos do solo podem ser divididos em mecânicos (textura, densidade do solo, agregação e porosidade), hidrológicos (capacidade de água disponível e taxa de infiltração) e zona de enraizamento (profundidade efetiva de enraizamento e temperatura do solo). Os atributos químicos incluem o pH, saturação de bases, capacidade de troca catiônica (CTC), nutrientes totais e disponíveis e matéria orgânica do solo (MOS). Dentre os indicadores biológicos encontram-se a população de micro, meso e macrofauna, teor de carbono da biomassa e carbono total (LAL, 1999).

O estudo desenvolvido por ISLAN & WEIL (2000) demonstrou que a estabilidade de agregados e outros atributos físicos como a densidade do solo e porosidade são fortemente influenciados pelo manejo do solo, servindo como indicadores gerais da qualidade do solo.

Segundo LEONARDO (2003) as propriedades físicas do solo são importantes para a saúde da microbacia hidrográfica por duas razões principais: pela forte relação existente entre as propriedades físicas do solo e os processos hidrológicos que ocorrem numa microbacia hidrográfica (infiltração, escoamento superficial e subsuperficial, drenagem profunda e erosão) e pela função da qualidade física do solo na regulação do suprimento e armazenamento de componentes como a água, nutrientes e oxigênio, essenciais ao desenvolvimento e crescimento dos vegetais.

Desta forma, os indicadores de qualidade do solo podem ser úteis para diagnosticar a situação atual do meio ambiente, permitindo o desenvolvimento de políticas que possibilitem amenizar as causas da degradação ambiental.

## **2.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento**

Entende-se por bacia hidrográfica uma área delimitada por divisores topográficos, drenada por um rio principal e seus tributários, onde toda a água captada converge para um único ponto de saída, o exutório da bacia hidrográfica (CARVALHO & SILVA, 2003).

Embora a bacia hidrográfica seja considerada a unidade espacial de planejamento mais apropriada, por permitir o controle mais objetivo dos recursos humanos e financeiros, favorecendo a integração de práticas de uso e manejo do solo e da água e a organização comunitária (SILVA *et al.*, 2003), para usufruir desta como unidade de planejamento é necessário dar uma atenção especial à escala de análise envolvida. Portanto, com intuito de

facilitar estas diferentes etapas do processo é comum utilizar-se de bacias hidrográficas de tamanho menor, conhecidas como microbacias.

O conceito de microbacia ainda não está claramente definido, pois sua definição está intimamente ligada ao conceito de bacia hidrográfica e de sub-bacias (SILVA *et al.*, 2003). As diferentes definições de microbacia têm sua origem numa interpretação ou compreensão científica da interação entre as suas funções na paisagem e a sua conformação geomorfológica, considerando-se cada um de seus componentes (LEONARDO, 2003). Em 1987 através de um decreto-lei a microbacia foi definida como sendo uma área de formação natural, drenada por um curso d'água e seus tributários, a montante de uma seção transversal considerada, para onde converge toda a água da área considerada (BRASIL, 1987).

Para efetuar a distinção entre microbacia e bacia hidrográfica não se deve considerar apenas o fator área (superfície total), mas também deve-se considerar os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio (LIMA & ZAKIA, 2000). Desta maneira, hidrologicamente as microbacias têm como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade e de curta duração, como também ao fator de uso do solo (cobertura vegetal). Com isso, as alterações na qualidade e na quantidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e/ou em função de mudanças no uso do solo, são detectadas com maior sensibilidade nas microbacias do que nas bacias grandes (LEONARDO, 2003).

Não existe um consenso sobre qual o tamanho ideal de uma microbacia, a área de uma microbacia depende do trabalho que se pretende realizar. Portanto, a microbacia deve abranger uma área suficientemente grande para que seja possível identificar as inter-relações existentes entre os inúmeros componentes do quadro sócio-ambiental que a caracteriza (GUERRA *et al.*, 2005).

O planejamento ambiental pode ser definido como todo projeto de planejamento de uma dada área que considera os fatores sócio-econômicos e físico-naturais para a avaliação das possibilidades de uso do território e dos recursos naturais, considerando-se a preservação e o melhoramento do meio ambiente (SILVA *et al.*, 2003).

Para a realização do planejamento ambiental em microbacias é necessário escolher corretamente a área a ser estudada, a microbacia escolhida para o estudo deve ser representativa da região, pois, desta maneira, torna-se possível transferir dados da microbacia monitorada para outras qualitativamente semelhantes. Para tanto, é preciso efetuar o levantamento de diversas características naturais da região, tais como a geologia, fatores edafo-climáticos, topografia, rede de drenagem e vegetação. Após o levantamento dos dados ambientais, as diferentes variáveis ambientais são integradas por meio de diferentes métodos, e a partir deles são definidas as unidades de planejamento, que têm como objetivo sintetizar as informações geradas durante o diagnóstico ambiental e sobre as quais serão efetuadas as propostas de uso e ocupação do território (GUERRA *et al.*, 2005).

Cabe salientar que uma correta gestão da bacia hidrográfica não deve contemplar apenas as águas superficiais, mas também considerar as águas sub-superficiais ou freáticas (que alimentam as nascentes e os cursos d'água) e as águas profundas, geralmente confinadas, responsáveis pela formação dos aquíferos. Tais mananciais não respeitam os limites definidos pela projeção vertical do contorno das bacias hidrográficas, transcendendo-os. Assim, as águas dos aquíferos subterrâneos conectam-se com diversas bacias vizinhas, podendo a sua contaminação pelo uso inadequado, gerar conseqüências à distância (LANNA, 1995).

Desta maneira, o trabalho em microbacias hidrográficas é uma maneira eficiente de gerar tecnologia regionalizada, difundir as práticas de manejo do solo, conservar os recursos naturais e contribuir para o desenvolvimento municipal e regional. Além disso, o planejamento ambiental em microbacias hidrográficas pode amenizar os impactos ambientais gerados pelas

ações antrópicas, uma vez que se tenha identificado as áreas mais fragilizadas e suscetíveis à erosão da paisagem, possibilitando a orientação da ocupação humana na microbacia hidrográfica (PEREIRA & MOLINARI, 1995).

### **2.3 Serviços Ambientais**

As florestas podem oferecer uma infinidade de bens e serviços ambientais. Atualmente, tem se dado ênfase maior aos recursos comercializáveis (valor de uso direto), tais como a madeira e os extrativos. No entanto, as florestas oferecem também serviços indiretos ou intangíveis que garantem a sustentabilidade das diversas atividades econômicas. Dentre os serviços ambientais gerados pelas florestas destacam-se: a regulação da disponibilidade e da qualidade das águas, a estabilidade térmica, a redução da concentração de poluentes atmosféricos, a captura de CO<sub>2</sub>, a ciclagem de nutrientes e a própria conservação do solo.

Desta forma, os serviços ambientais referem-se a todos os serviços gerados pelo capital natural que não correspondem ao uso direto do recurso natural na forma de insumo (SEROA da MOTTA, 1996).

Esses serviços ambientais estão sendo, gradativamente, reconhecidos pelas autoridades responsáveis pela elaboração de políticas públicas e pelo estabelecimento de mecanismos financeiros e institucionais.

Nessa direção, a Empresa de Serviços Públicos de Heredia, na Costa Rica, reajustou suas tarifas de abastecimento de água para custear atividades de proteção e recuperação de florestas nas zonas de infiltração das fontes de abastecimento de água potável (CAMACHO, 2001).

No Brasil, o Programa Nacional de Florestas (PNF), reconhece a importância das florestas na proteção dos mananciais hídricos de abastecimento público e propõe a aplicação de parte da tarifa de água na recuperação de áreas de preservação permanente de bacias hidrográficas (MMA, 2000).

Em São Paulo, um movimento pioneiro no âmbito da bacia do rio Corumbataí gerou uma iniciativa exemplar pelo poder público, apoiada pela sociedade civil organizada. O município de Piracicaba decidiu investir, através da sua companhia de águas e esgotos – SEMAE, em ações de conservação e recuperação florestal, para garantir o suprimento de água em qualidade e quantidade, necessárias à sua população de quase meio milhão de habitantes. Para isso, a SEMAE recolhe R\$ 0,01 por cada m<sup>3</sup> de água captada, possibilitando a execução de projetos de sementeiras, reflorestamento e educação ambiental. Os recursos arrecadados propiciaram a elaboração de um Plano Diretor Florestal para a Bacia do Rio Corumbataí (IPEF, 2002).

Apesar das iniciativas supracitadas, o reconhecimento dos serviços gerados pela cobertura florestal ainda é incipiente e está longe de ser concretizado. De acordo com a economia ambiental, a degradação dos recursos naturais ocorre pela ausência de regras claras a serem aplicadas sobre o meio ambiente, ficando este fora do mercado (MAN YU, 2004). Segundo o mesmo autor, caso a economia ambiental consiga atribuir o verdadeiro valor aos bens e serviços ambientais, estes poderão ser manejados como qualquer recurso econômico escasso.

De acordo com YOUNG & FAUSTO (1997), a valoração permite, entre outros motivos, identificar e ponderar os diferentes incentivos econômicos que interferem na decisão dos agentes em relação ao uso dos recursos naturais.

Segundo, ROMEIRO (2001) o mercado apresenta falhas devido ao fato da grande parte dos serviços ambientais se constituírem de bens públicos (“bens de consumo coletivo”), não

tendo, portanto, preços. A idéia de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) surge como um instrumento para corrigir estas “falhas de mercado”. O PSA tem como princípio básico o reconhecimento que o meio ambiente fornece gratuitamente uma gama de bens e serviços que são de interesse direto ou indireto do ser humano, garantindo sua sobrevivência e permitindo seu bem-estar. O PSA envolve transferências financeiras de beneficiados de serviços ambientais para os que, devido a práticas de conservação da natureza, fornecem esses serviços (RIVA *et al.*, 2007). Desta forma, o PSA constitui-se em um conjunto de metodologias de valoração econômica que mensuram direta ou indiretamente a disposição a pagar dos indivíduos por bens e serviços ambientais (ROMEIRO, 2001).

No entanto, para a implementação de um PSA é preciso que os usuários dos serviços ambientais reconheçam esses serviços adotando uma transferência voluntária para aqueles que adotam práticas conservacionistas (GELUDA & YOUNG, 2005).

De acordo com WUNDER (2005) são utilizados quatro critérios para definir sistemas de PSA: um acordo voluntário; um serviço devidamente definido; ao menos um comprador e ao menos um vendedor.

A impossibilidade legal de se remunerar, de forma direta, aqueles que contribuem para a conservação dos ecossistemas, faz com que sistemas regulamentares de PSA, no Brasil, dependam, em grande parte, de uma estratégia política e de uma ação de Estado, através da criação de instrumentos econômicos, que alterem os custos de oportunidade das atividades conservacionistas, aliada a mecanismos alternativos de repasse de recursos (RIVA *et al.*, 2007). O custo de oportunidade, neste caso, refere-se a um conceito que sempre envolve a comparação entre opções distintas. Assim, uma atividade tem alto custo de oportunidade quando a escolha por ela significa deixar de se dedicar a outras oportunidades que trariam melhor retorno econômico (RIVA *et al.*, 2007).

Desta forma, para que a sociedade decida proteger um dado bem ou recurso ambiental é necessário a criação de mecanismos adequados para estimar o seu valor econômico, social e ambiental. Isto só torna-se possível, por meio do desenvolvimento de técnicas inovadoras que permitam a mensuração de benefícios que antes eram tratados apenas qualitativamente, por se tratar de bens que não são comprados nem vendidos em mercados formais.

## **2.4 Impacto de Diferentes Tipos de Uso do Solo**

O solo é um meio dinâmico em constante transformação. A remoção, formação e redistribuição de partículas são fenômenos naturais e ocorrem em qualquer ecossistema, o que varia são as suas intensidades em função das fragilidades dos ecossistemas (GUERRA & CUNHA, 1994).

Quando o ecossistema se apresenta equilibrado, o volume de material removido tende a ser similar ao que se forma, conferindo equilíbrio aos processos ambientais. Quando o equilíbrio do ecossistema apresenta-se perturbado, o processo de erosão se dá de forma acelerada, gerando diversos prejuízos (SUAREZ de CASTRO, 1980). Segundo RANZINI & LIMA (2002), a erosão é tida como responsável por 80% dos problemas de alteração da qualidade da água em microbacias hidrográficas.

De acordo com BERTONI & LOMBARDI NETO (1990) os processos erosivos ocorrem naturalmente no meio ambiente, de forma lenta e gradual, causando, no decorrer da evolução do globo terrestre, mudanças no relevo e na vegetação. A intervenção humana acelera os processos erosivos por meio da ocupação e uso intensivo do solo, removendo camadas superficiais do solo e formando ravinas e sulcos (POLITANO *et al.*, 1992).

A magnitude dos efeitos dos diferentes usos do solo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é determinada, dentre outros fatores, pelas condições climáticas, classe de solo e tempo de uso dos sistemas de manejo (BERTOL, *et al.*, 2000).

Quando o solo está coberto por cobertura vegetal densa e sistema radicular abundante a dinâmica do processo erosivo é menos intensa. Isto deve-se ao fato da cobertura vegetal interceptar as gotas de chuva, dissipando sua energia cinética e reduzindo o impacto e a degradação do solo (CASSOL, 1981). Além disso, a cobertura vegetal reduz a velocidade do escoamento das águas superficiais pela formação de barreiras mecânicas e maior infiltração, gerada por uma melhor estruturação do solo, o que diminui o transporte de sedimentos aos corpos hídricos. Desta maneira, a vegetação contribui diretamente para a preservação do solo e seus atributos e indiretamente na conservação da biodiversidade, gerando benefícios sociais e atenuando mudanças climáticas (BENEDITO, 2001; MONTEBELO *et al.*, 2005). De acordo com SOPPER (1975) a cobertura florestal natural promove proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes, sendo essas áreas importantes para o armazenamento e manutenção do abastecimento de água de boa qualidade.

A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas e pastagens, aliadas as práticas de manejo inadequadas, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas, limitando sua utilização agrícola e tornando-o mais suscetível à erosão (CENTURION *et al.*, 2001).

De acordo com BRAGA (1999) os impactos do desmatamento de uma floresta traduzem-se em: alteração na qualidade da água, através do aumento da turbidez, da eutrofização e do assoreamento dos corpos d'água; alteração do deflúvio, com enchentes nos períodos de chuva e redução na vazão de base em épocas de estiagens; mudanças micro e mesoclimáticas, esta última quando em grandes extensões de florestas; mudança na qualidade do ar, em função da redução da fotossíntese e do aumento da erosão eólica; e redução da biodiversidade, em decorrência da supressão da flora e fauna local.

Segundo ENDRES *et al.* (2006), as pastagens são unidades vegetais que melhoram as condições estruturais do solo e diminuem o processo erosivo pelo aumento da superfície rugosa. Entretanto, esses benefícios somente são observados quando essa cultura é conduzida adequadamente. Caso contrário, é possível observar processos erosivos intensos em pastagens mal manejadas, fazendo com que as mesmas se transformem em fontes pontuais de emissão de sedimentos. De acordo com GASPARINO *et al.* (2006) em pastagens, o gado ocasiona a compactação do solo, impedindo ou dificultando o processo de regeneração natural e ocasionando o empobrecimento em quantidade e qualidade do banco de sementes do solo.

Após a retirada da vegetação natural, o solo sob cultivo agrícola frequentemente apresenta alterações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas, onde a interação destas condições estabelece um novo equilíbrio no sistema solo (JUNIOR & MELO, 2000).

Estudos desenvolvidos por ARCOVA & CICCO (1997) demonstram que o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes são maiores nas microbacias de uso agrícola, quando comparadas às de uso florestal.

O estudo desenvolvido por PERIN *et al.* (2003) demonstrou que o uso agrícola tende a uma redução no teor de matéria orgânica no solo, pelo aumento da taxa de decomposição, especialmente quando o preparo do solo é feito com revolvimento, ocasionando um balanço negativo entre adição e perda de carbono no solo. Este fato pode trazer conseqüências na estruturação do solo e no desenvolvimento da vegetação.

Os diferentes tipos de uso do solo influenciam diretamente na qualidade da água, DONADIO *et al.* (2005) avaliando a qualidade da água em áreas com diferentes usos do solo, verificaram que nas nascentes com vegetação natural remanescente, a qualidade da água mostrou-se melhor que nas nascentes com uso agrícola.

Desta forma, verifica-se que o tipo de uso/ocupação do solo influencia diretamente na manifestação e intensidade dos processos erosivos, na capacidade de retenção de água, na qualidade física, química e biológica do solo e na qualidade da água proveniente da bacia hidrográfica.

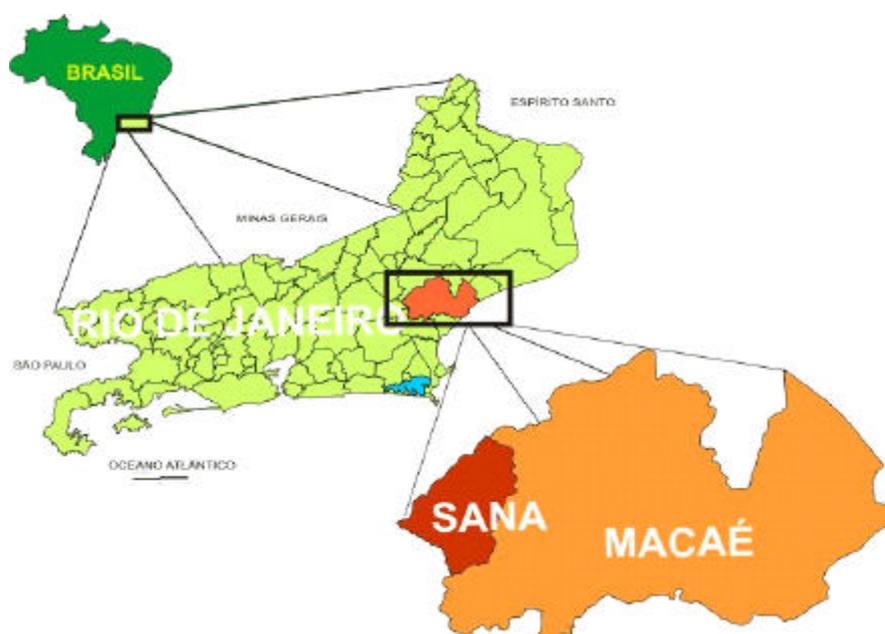
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características Gerais da APA do Rio Sana

##### 3.1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na Área de Proteção Ambiental (APA) do Sana que possui uma área total de 11.802 hectares, abrangendo todo o 6º Distrito do município de Macaé-RJ, estando nela contida a microbacia do Rio Sana, importante afluente do Rio Macaé. A APA do Sana está localizada na Região Norte Fluminense, a Oeste do Município de Macaé, situado a 165 km da cidade do Rio de Janeiro, fazendo parte da Serra do Mar (Figura 1).

A altitude varia de 190 m acima do nível do mar até 1800 m. A área assume características montanas, com encostas íngremes dissecadas por grotões úmidos, onde estão os córregos (caracterizados por corredeiras rochosas, na maior parte de suas extensões).



**Figura 1:** Localização da área de estudo (Plano de manejo da APA da bacia do rio Sana, 2003).

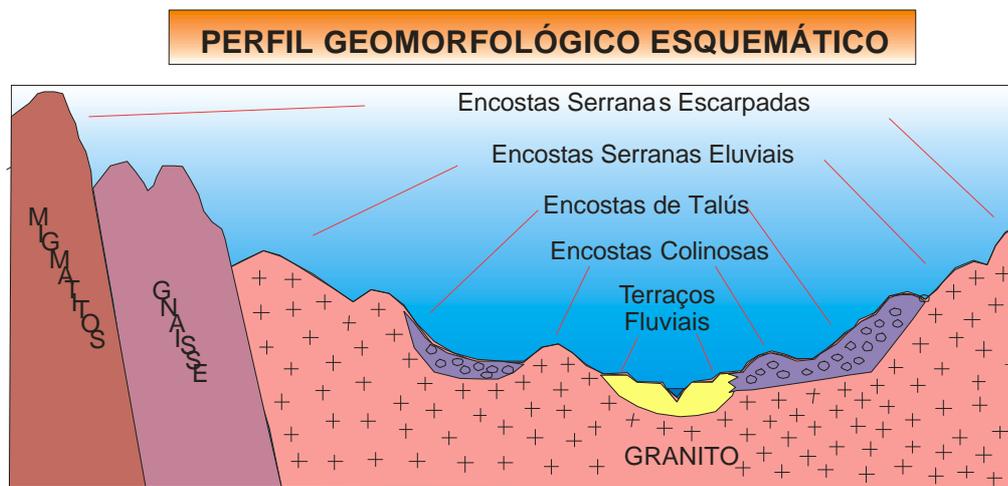
##### 3.1.2 Clima

Segundo a classificação proposta pelo Sistema de Köppen, a região da APA da bacia do rio Sana apresenta clima classificado como Aw, com precipitação média anual é de 2.128 mm, sendo o período de maior precipitação de outubro a março e o período de menor precipitação de julho a agosto (PMM, 2003).

##### 3.1.3 Domínios geomorfológicos e de solos da bacia do rio Sana

A geomorfologia da bacia do rio Sana apresenta os terraços fluviais, encostas colinosas e encostas de talús desenvolvidas a partir de granito nas partes mais baixas da paisagem. No

terço médio da paisagem se encontram as encostas serranas eluviais que são áreas de contribuição de material para as partes mais baixas da paisagem. No terço superior existe o domínio das encostas serranas escarpadas de rochas migmáticas (Figura 2).



**Figura 2:** Perfil esquemático da geomorfologia da bacia do rio Sana (PMM, 2003).

A bacia do rio Sana apresenta as classes de solo CAMBISSOLOS HÁPLICO, ARGISSOLOS AMARELOS, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, NEOSSOLOS FLÚVICO e associações de ARGISSOLOS AMARELOS com LATOSSOLOS AMARELOS (PMM, 2004).

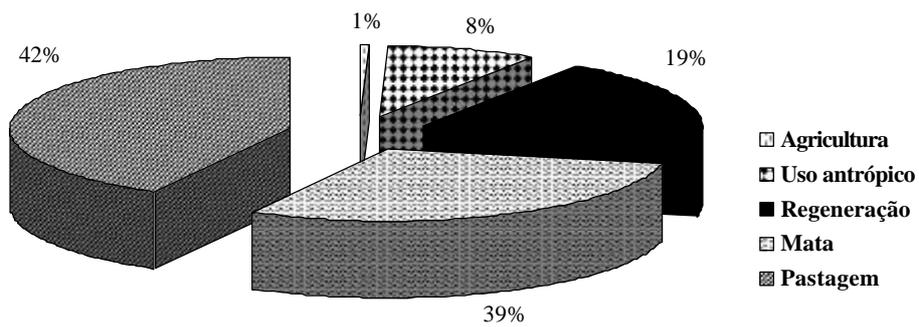
### 3.1.4 Domínios vegetacionais

A bacia do rio Sana encontra-se numa região de Floresta Ombrófila Densa, que originalmente revestia, de forma contínua, quase toda a área da Serra do Mar, caracterizando-se como Mata Atlântica. A formação vegetal dominante possui características florísticas e fisionômicas que dependem da zona altitudinal, do solo e do relevo sobre o qual se desenvolve, assim como, também, da degradação a qual foi submetida. Esta floresta apresenta uma parte aérea constituída de numerosas e variadas formas de vida que se dispõem em estratos (PMM, 2003).

De acordo com a variação altitudinal, podem existir três subtipos de Floresta Ombrófila Densa: Floresta Submontana (até 500 m de altitude), Floresta Montana (acima de 500 m e até 1.500 m) e Floresta Alto-montana (acima de 1.500 m).

### 3.2 Seleção da microbacia hidrográfica e das parcelas amostrais

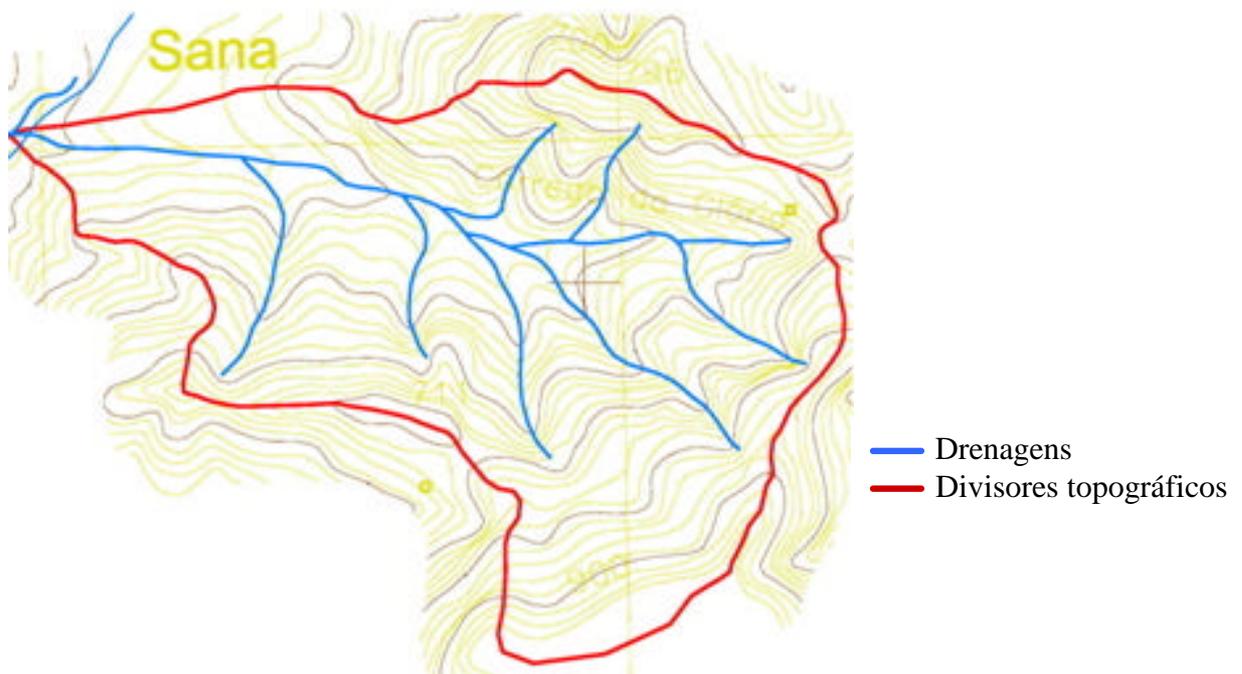
Foi selecionada uma microbacia hidrográfica representativa da região (microbacia Glória) que apresenta uma área total aproximada de 325 ha. A maior parte de sua extensão é coberta por pastagem (Figura 3).



**Figura 3:** Percentagens dos diferentes tipos de uso do solo em relação à área total da microbacia Glória.

A escolha das parcelas amostrais dentro da microbacia teve como critério a identificação e delimitação de unidades geomorfológicas semelhantes, pertencentes à mesma classe de solo (Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico A moderado relevo forte Ondulado/Ondulado), porém com distintos tipos de uso do solo (Figura 4).

Foram selecionadas três áreas com diferentes tipos de uso do solo: floresta (Mata Atlântica), pastagem e agricultura (plantio de banana) (Figura 5).



**Figura 4:** Posicionamento das áreas de estudo dentro da microbacia hidrográfica Glória.



**Figura 5:** Delimitação das áreas de floresta (Mata Atlântica), pastagem e agricultura (plântio de banana).

As três áreas analisadas são contíguas. O fragmento florestal apresenta uma área aproximada de 7,0 ha, enquanto a pastagem e a área de agricultura apresentam, respectivamente, 3,0 ha e 2,5 ha.

A floresta consiste em um típico fragmento florestal de Mata Atlântica da região, classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1992). O fragmento apresenta baixa intervenção antrópica, no qual foram extraídas no passado algumas árvores de pequeno porte para obtenção de lenha (Figura 6).



**Figura 6:** Área de floresta (Mata Atlântica).

De acordo com o histórico de uso da região todas as áreas sem cobertura florestal foram transformadas em pastagens, sendo parte dessas áreas, posteriormente, transformadas em bananal. O plantio de banana escolhido vem sendo manejado de forma diferenciada dos cultivos de banana tradicionais, havendo intensivo revolvimento do solo (aração e gradagem) em intervalos aproximados de 5 anos. A área é também submetida a eventuais aplicações de calcário (Figura 7).



**Figura 7:** Área de agricultura (plantio de banana).

A área de pastagem foi formada a mais de 20 anos, onde ao longo deste período foram efetuadas eventuais aplicações de calcário na área. A pastagem é composta, predominantemente, de grama- batatais (*Paspalum notatum*). A mesma tem sido utilizada para o pastejo de bovinos e caprinos para produção de leite (proprietário da área - Sr. Jorge Jesus, comunicação pessoal). Observou-se sinais de erosão nos trechos mais declivosos da área (Figura 8).



**Figura 8:** Área de pastagem.

### 3.3 Determinação dos Atributos Físicos da Qualidade do Solo

#### 3.3.1 Análise granulométrica

Para determinação da composição granulométrica das amostras utilizou-se o método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Para tanto, foram coletadas três amostras em cada área nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm.

#### 3.3.2 Estabilidade de agregados

Foram coletadas 7 (sete) amostras indeformadas por tipo de uso do solo, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. A estabilidade de agregados foi determinada pelo método do tamisamento úmido (KEMPER & ROSENAU, 1986). Este método utiliza o aparelho de oscilação vertical YOODER (1936), com conjunto de peneiras com malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,105 mm de diâmetro. Para a tamisagem, foi realizado um pré-tratamento das amostras (25 g), por meio do umedecimento com água via atomizador. O conjunto de peneiras foi regulado de modo que a lâmina de água atingisse a porção superior da amostra na peneira de maior diâmetro. A tamisagem foi realizada por um período de 15 minutos.

Quantificou-se a proporção de solo seco (60<sup>0</sup>C, por um período mínimo de 24 horas) contida em cada peneira e, por diferença, o que ultrapassou a última peneira (< 0,105 mm). Os valores obtidos foram usados para cálculo do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), utilizando-se a seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

Onde:

w<sub>i</sub> = proporção de cada classe de agregados em relação ao total e

x<sub>i</sub> = diâmetro médio das classes (mm).

### 3.3.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada por meio da coleta de 7 amostras indeformadas utilizando-se o anel volumétrico de Kopeck (EMBRAPA, 1997), nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm em cada uma das áreas analisadas. A densidade do solo foi obtida por meio da seguinte equação:

$$DS = \frac{MS}{VT}$$

Onde:

DS= Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)

MS= Massa seca da amostra (g)

VT= Volume total do anel de Kopeck (cm<sup>3</sup>)

### 3.3.4 Porosidade total e distribuição dos poros

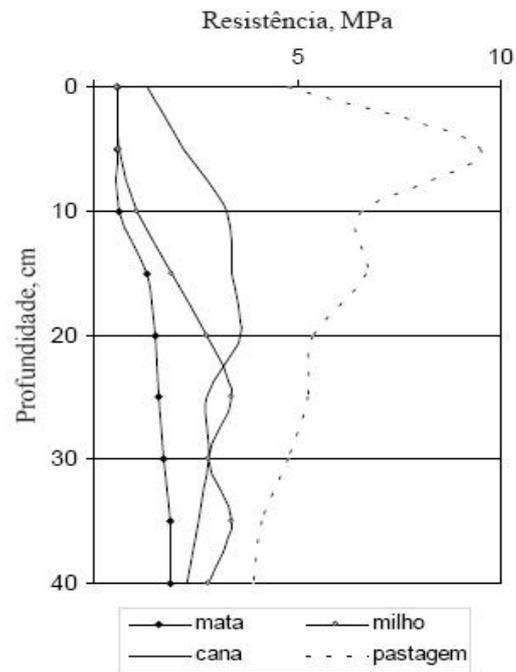
Para a determinação da porosidade total e micro e macroporosidade do solo foram coletadas 7 amostras indeformadas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm em cada uma das áreas analisadas, utilizando-se o coletor Uhland e anéis de PVC.

A macro e a microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). O peso correspondente ao volume de água, retirado sob pressão negativa de 60 cm de coluna d'água, constituiu a quantidade de macroporos. A quantidade de microporos foi determinada por meio da secagem das amostras de solo em estufa, a 110° C, e pesagem. A porosidade total foi obtida por meio da soma da micro e macroporosidade.

### 3.3.5 Resistência à penetração

Para a avaliação da resistência à penetração utilizou-se um penetrógrafo até a profundidade de 30 cm, sendo realizadas 7 repetições em cada uma das áreas.

O penetrógrafo consiste em um equipamento provido de uma haste com a ponta em forma de cone que é introduzida no solo e um dispositivo que registra a carga aplicada em relação à profundidade. Com os resultados é possível gerar gráficos que indicam a variação da resistência à penetração ao longo do perfil do solo, bem como a presença de alguma camada compactada (Figuras 9a e 9b).



**Figura 9:** (a) Penetrógrafo utilizado para a realização dos testes de resistência à penetração. (b) Exemplo do gráfico gerado pelo penetrógrafo.

### 3.3.6 Determinação do teor de umidade dos solos

Para a determinação dos teores de umidade dos solos, no ato da determinação da resistência à penetração, foram coletadas amostras de solos (7 repetições por área), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. A avaliação da umidade do solo foi efetuada por meio da pesagem das amostras úmidas em balança analítica (obtenção do peso úmido) e posterior secagem em estufa a 105°C por 24h. Após a secagem das amostras as mesmas foram novamente pesadas para obtenção do peso seco. O teor de umidade foi obtido por meio da seguinte equação:

$$Ug = \frac{PU - PS}{PS} * 100$$

Onde:

$Ug$ = Umidade gravimétrica (%)

$PU$ = Peso úmido da amostra de solo (g)

$PS$ = Peso seco da amostra de solo (g)

### 3.3.7 Infiltração de água no solo

A infiltração foi determinada utilizando-se o permeômetro de Guelph (VIEIRA, 1998) (Figura 10). Foram efetuadas 7 repetições em cada tipo de uso do solo, efetuando-se a avaliação na profundidade de 10 cm, com carga hidráulica de 5 cm.

O Permeômetro de Guelph é um permeômetro de furo e de carga hidráulica constante que mede a condutividade hidráulica saturada de campo acima do lençol freático (AGUIAR, 2001).

É composto de uma garrafa de Mariotte que controla a carga constante de água dentro do furo, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é introduzida e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares.

Após algum tempo, que dependerá, dentre outros fatores, da umidade antecedente do solo e da sua textura, uma pequena área em torno do furo estará saturada e, então, o fluxo torna-se constante. Este valor de fluxo é utilizado no cálculo da permeabilidade.

Algumas das vantagens deste método de campo são: a leveza do aparelho, a facilidade de operação, a rapidez dos ensaios e a pouca quantidade de água requerida (0,5 a 2 litros) por ensaio.



**Figura 10:** Permeâmetro de Guelph.

### **3.4 Determinação dos Atributos Químicos da Qualidade do Solo**

#### **3.4.1 Conteúdo de carbono orgânico do solo**

O conteúdo de carbono orgânico do solo foi determinado por oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997). Para tanto, foram coletadas 7 amostras nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm em cada uma das áreas analisadas.

#### **3.4.2 Análise química do solo**

As análises químicas dos solos foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997), onde foram coletadas 7 amostras simples para cada área nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

### **3.5 Correlação entre variáveis**

Com o intuito de verificar as relações existentes entre os diferentes atributos físicos e químicos do solo, foram realizadas correlações de Pearson entre as variáveis Carbono orgânico do solo (C-org) e Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP). Realizou-se também correlações entre Densidade do solo e as variáveis porosidade total e macroporosidade. Todas as correlações foram realizadas com o auxílio do Sistema para Análises Estatísticas e Genéricas (SAEG).

### **3.6 Análise estatística**

As áreas foram comparadas, para cada variável e profundidade individualmente.

Foram realizadas análises de variância, aplicando-se o teste F, seguindo-se um delineamento inteiramente casualizado, com sete repetições.

Para as variáveis cujo teste F foi significativo, compararam-se as médias estudadas, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio do Sistema para Análises Estatísticas e Genéricas (SAEG).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise granulométrica do solo

Anteriormente à determinação dos atributos físicos e químicos do solo, foi realizada análise granulométrica do solo de cada uma das três áreas analisadas (floresta, pastagem e agricultura), com o intuito de averiguar a similaridade das proporções das frações granulométricas entre as áreas, visto que esta característica influencia diretamente nos demais atributos do solo.

Os dados referentes à análise granulométrica das áreas estão apresentados na Tabela 1. As três áreas apresentam a mesma classe textural nas duas profundidades, franco-arenosa, com uma pequena elevação nos teores de argila na camada de 5-10 cm, comportamento este natural para a maioria dos solos minerais. Observa-se também que a área de agricultura tende a apresentar teores mais elevados de silte. Considerando que solos com mesmas classes texturais podem apresentar grandes variações na composição granulométrica, efetuou-se a análise estatística entre as frações e profundidades. Com exceção do teor de silte na área de floresta, que apresentou teores estatisticamente inferiores às demais áreas na profundidade de 5-10 cm, as áreas podem ser consideradas semelhantes, o que permite a comparação destas. Esta informação é importante no estudo, uma vez que, se as áreas apresentassem variações significativas na granulometria, sobretudo no teor de argila, a comparação dos sistemas de manejo poderia estar comprometida, pois a textura e não o manejo poderia ser o determinante das diferenças nas características analisadas.

**Tabela 1:** Análise granulométrica nos diferentes tipos de uso e profundidades.

Áreas	Profundidade (cm)	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Classe Textural
Floresta	0-5	713Aa	172Aa	115Aa	Franco-arenosa
	5-10	711Aa	183Aa	106Ba	Franco-arenosa
Agricultura	0-5	641Aa	165Aa	194Aa	Franco-arenosa
	5-10	616Aa	187Aa	197Aa	Franco-arenosa
Pastagem	0-5	705Aa	139Aa	156Aa	Franco-arenosa
	5-10	650Aa	170Aa	180Aa	Franco-arenosa
<b>Coefficiente de Variação</b>	-	11%	24%	26%	-

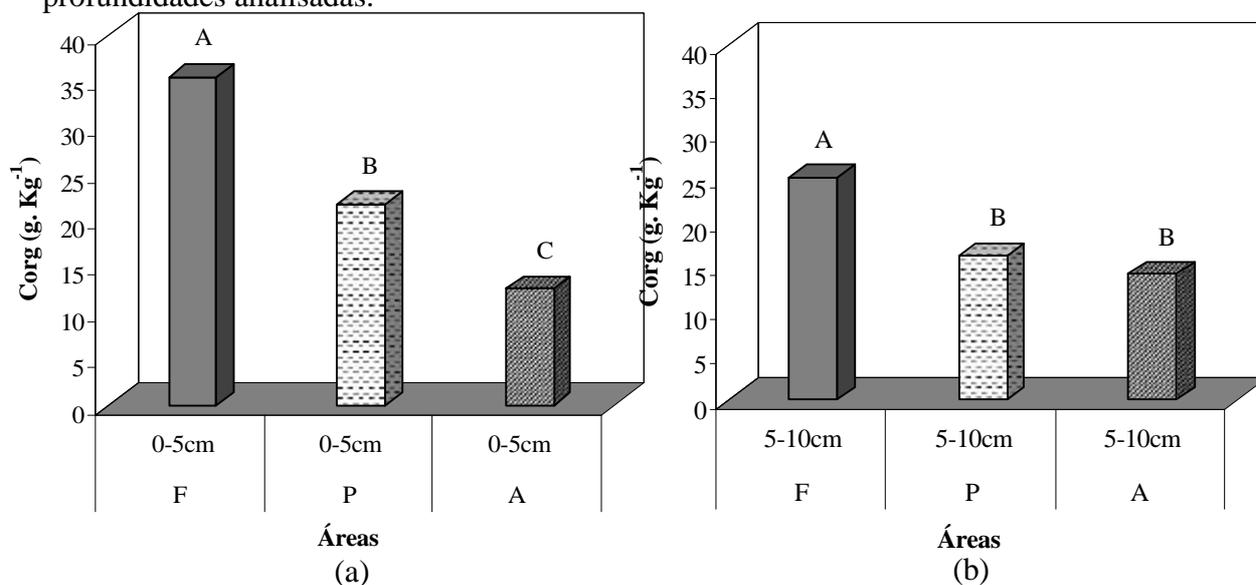
Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam, respectivamente, diferença estatística entre as áreas e entre as profundidades na mesma área, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

### 4.2 Carbono Orgânico do solo e Diâmetro Médio Ponderado

Na Figura 11 (a, b) são apresentados os dados de carbono orgânico do solo (C-org) nos diferentes tipos de uso e profundidade do solo. Verifica-se que para ambas as profundidades, a área de floresta apresentou valores superiores de C-org quando comparada às demais áreas.

CAMPOS *et al.*, (2004) estudando as diferenças nos teores de C-org em três diferentes áreas (floresta, pastagem e cana-de-açúcar) no estado do Espírito Santo, também verificaram este comportamento. A área de pastagem comportou-se de forma intermediária apresentando

conteúdos de C-org inferiores à floresta, porém superiores à área de agricultura para as duas profundidades analisadas.



**Figura 11:** Carbono orgânico do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades do solo. (a) profundidade de 0-5 cm. (b) profundidade de 5-10 cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as áreas pelo teste de Tukey a 5%. C.V.% para a profundidade de 0-5 cm: 21%. C.V.% para a profundidade de 5-10 cm: 16%.

O menor teor de carbono orgânico encontrado na área de agricultura, na camada de 0-5 cm pode ser explicado pelas características inerentes ao sistema de manejo empregado, ou seja, o sistema de cultivo com banana confere um menor aporte de matéria orgânica ao solo, tanto pela parte aérea como pelo sistema radicular, quando comparado à floresta e pastagem. Além do menor aporte de matéria orgânica, a área com cultivo de banana possui maior potencial de degradação da matéria orgânica do solo em função do maior revolvimento das camadas superficiais, ocasionando a ruptura dos agregados, aumentando a exposição de novas superfícies para o ataque microbiano, além do aumento da pressão parcial de oxigênio, que acarreta perdas de C-org pela oxidação da matéria orgânica (CANELLAS *et al.*, 2003).

Com relação ao comportamento do carbono em profundidade, observa-se que, com exceção da área com agricultura, na profundidade de 0-5 cm o teor de carbono orgânico foi superior a camada de 5-10 cm, este comportamento é verificado com frequência na maioria dos solos, uma vez que na primeira camada a entrada de matéria orgânica é mais frequente (CAMPOS *et al.*, 2004; BRITO, 2005).

Os valores do Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados (DMP) das áreas de floresta, pastagem e agricultura, nas duas profundidades, encontram-se na Figura 12 (a, b). De modo geral, constata-se que conforme aumentou a intensidade de intervenção antrópica, reduziu-se a estabilidade dos agregados do solo. Verificou-se, ainda, que as variações dos valores de DMP acompanharam as alterações no teor de C-org do solo. Na área sob floresta o DMP foi estatisticamente superior, em ambas as profundidades, quando comparado com os usos pastagem e agricultura.

BRITO (2005) estudando a agregação do solo em três diferentes tipos de uso do solo (floresta, cana-de-açúcar e pastagem), em solos de Tabuleiro na região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro, encontrou resultados semelhantes, onde o maior valor de DMP foi verificado na área de floresta, seguido da área de pastagem e cana. Segundo o mesmo autor, este comportamento pode ser explicado pela maior adição de matéria orgânica ao solo na área

de floresta via serapilheira. Outro fator que poderia explicar este resultado é o mecanismo de interceptação da água da chuva pela cobertura florestal e a presença da serapilheira que atenuam o efeito do impacto das gotas de chuva, além da atuação das raízes finas que favorecem a agregação do solo (MBAGWU, 1991; GUERRA, 1994).

Na área sob pastagem os valores de DMP foram sistematicamente superiores à de agricultura, no entanto, somente na profundidade de 5-10 cm, encontrou-se diferença estatística. Este comportamento, provavelmente se deve ao fato de que na pastagem, praticamente não existe revolvimento do solo, ou este é muito menos freqüente. Além disso, a morfologia fasciculada do sistema radicular das gramíneas tende a explorar um maior volume de solo, ativando a fauna do solo e promovendo a aproximação das partículas unitárias (BRASIL, 2005). Dessa forma, em áreas sob pastagem, a deposição contínua e superior de material orgânico, tanto na superfície como em subsuperfície, associado à renovação constante do sistema radicular podem ser as causas da maior agregação na área de pastagem quando comparado com a área de cultivo de banana (MAIA & RIBEIRO, 2004; BRITO, 2005; PINHEIRO, 2002).

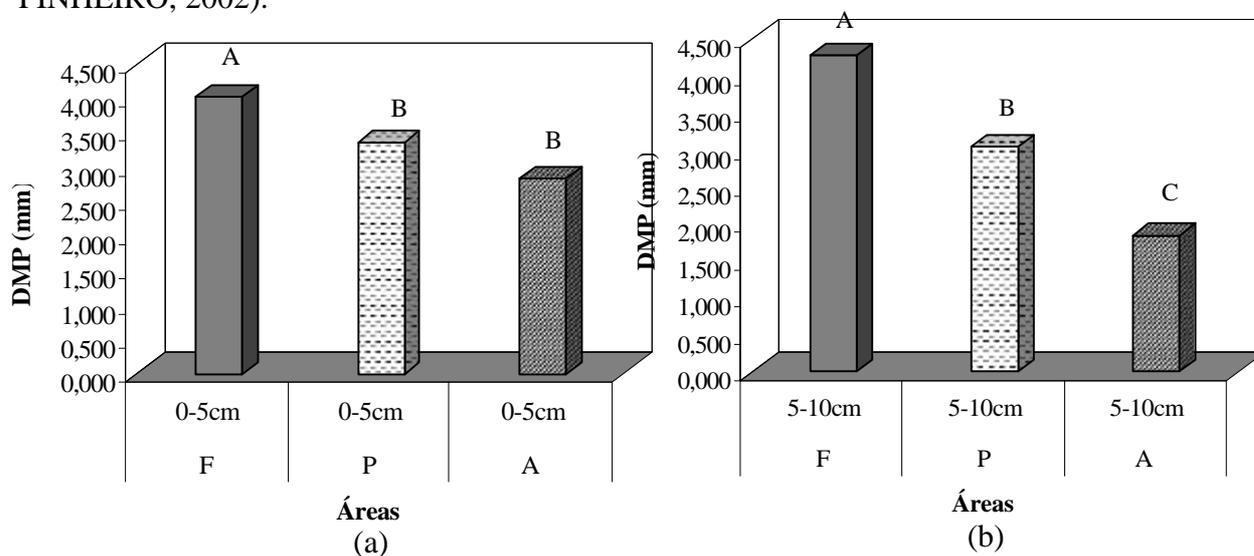
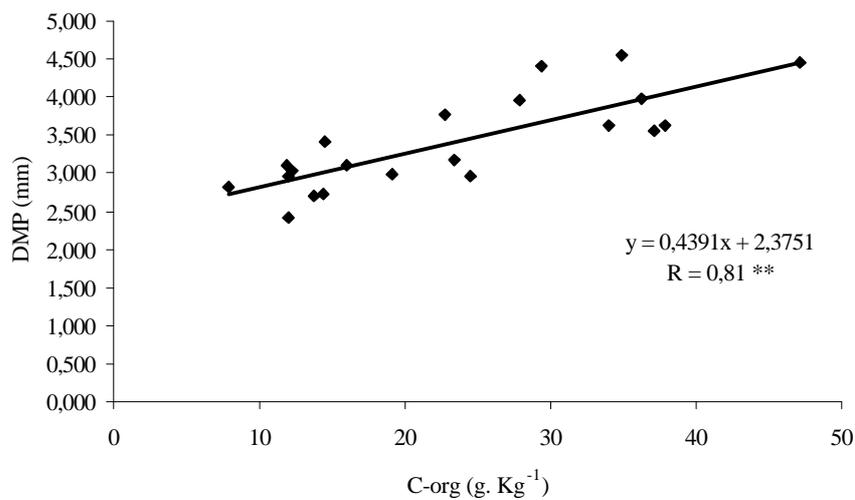


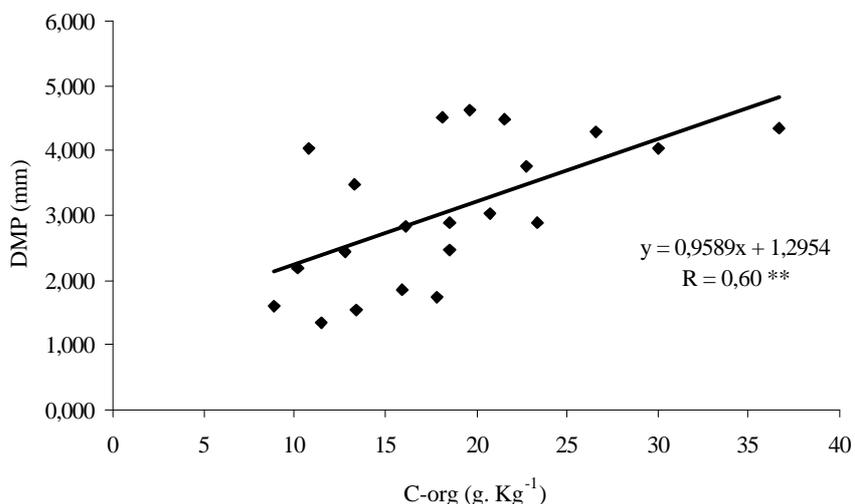
Figura 12: Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados nos diferentes tipos de uso do solo e profundidades. (a) profundidade de 0-5 cm. (b) profundidade 5-10 cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as áreas pelo teste de Tukey a 5%. C.V.% para a profundidade de 0-5 cm: 13%. C.V.% para a profundidade de 5-10 cm: 13%.

Na Figura 13 (a e b) são apresentados os dados de correlação de Pearson entre C-org e DMP, nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. Através desse coeficiente, constata-se uma relação direta e estatisticamente significativa entre C-org e DMP, em ambas as profundidades. Esses dados confirmam a hipótese de que sistemas de manejo que contribuem com maior aporte de matéria orgânica, conferem melhor agregação ao solo. Vários trabalhos na literatura confirmam esta relação, pois a matéria orgânica é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo. CASTRO FILHO *et al.* (1998) encontraram resultados semelhantes a este, com correlações significativas entre as duas variáveis à 1% de probabilidade.

Com relação às profundidades, constata-se que a melhor correlação foi encontrada na profundidade de 0-5 cm ( $R = 0,81$ ). Na camada de 5-10 cm, a relação entre C-org e DMP tende a ser mais errática ( $R = 0,60$ ), provavelmente em função da tendência de diminuição do teor de carbono em profundidade, sobretudo em sistemas onde há o revolvimento do solo, como no caso do cultivo de banana.



(a)



(b)

**Figura 13:** Correlação entre Carbono orgânico do solo (C-org) e Diâmetro Médio Ponderado dos agregados (DMP). (a) profundidade de 0-5 cm. (b) profundidade de 5-10 cm.

\*\* significativo a 1%.

#### 4.3 Densidade do solo

A área sob floresta apresentou os menores valores de densidade do solo, se diferindo estatisticamente das demais áreas para as duas profundidades estudadas. As áreas de pastagem e agricultura apresentaram valores de densidade estatisticamente iguais (Figuras 14a e 14b). Observa-se que a densidade do solo tende a valores mais elevados em profundidade em todas as áreas analisadas.

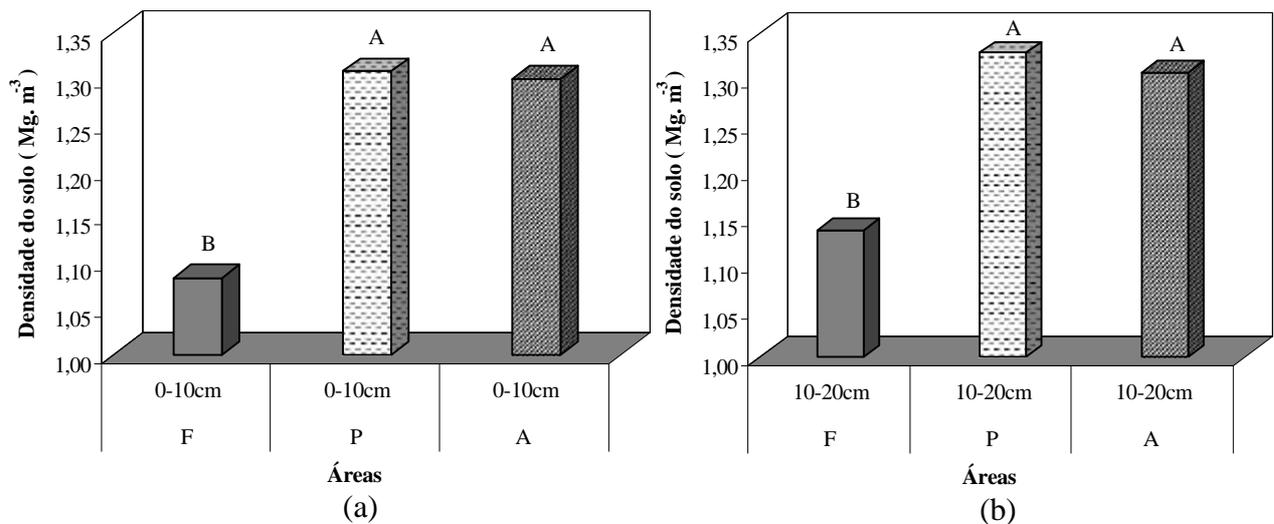


Figura 14: Densidade do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades. (a) profundidade de 0-10cm. (b) profundidade de 10-20cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as áreas pelo teste de Tukey a 5%. C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 8%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 6%.

Estes resultados são corroborados pelo estudo realizado por ARAÚJO *et al.*, (2004), em um Argissolo Amarelo na Amazônia, que constataram maiores valores de densidade do solo para pastagem e menores valores em mata nativa na camada superficial (0-10 cm), comportamento inverso ao apresentado pela porosidade.

MELO (2003) encontrou valores de densidade do solo semelhantes em seu estudo no estado do Acre, com valores médios de 1,1 Mg/m<sup>3</sup> nas áreas de floresta e 1,3 Mg/m<sup>3</sup> nas pastagens. MULLER *et al.* (2001) estudando as propriedades físicas do solo na região Amazônica, também verificou valores de densidade inferiores no solo sob floresta do que no solo cultivado com pastagem.

Os maiores valores de densidade do solo na área de pastagem deve-se, provavelmente, a compactação do solo decorrente do pastejo animal.

SOUZA *et al.* (2004) também encontraram valores de densidade do solo superiores na área de pastagem em relação a diferentes cultivos agrícolas (milho, laranja, pupunha, guaraná) e a mata nativa.

OLIVEIRA *et al.* (1995) & SILVA *et al.* (2005) avaliando atributos físicos do solo em áreas sob plantio de cana-de-açúcar e sob floresta, observaram valores de densidade do solo inferiores na área florestal em comparação as áreas cultivadas, justificando este comportamento pelo acúmulo de raízes e material orgânico em decomposição na área.

Desta forma, os baixos valores de densidade do solo verificados na área florestal devem-se, em parte, a espessa camada de serapilheira e a grande presença de raízes finas que promovem elevação no teor de matéria orgânica, ocasionando melhor agregação do solo. Este fato foi verificado por meio dos maiores valores do Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados (DMP) encontrados no solo sob floresta.

Elevados valores de densidade do solo prejudicam a aeração, penetração e a proliferação de raízes (RICHART *et al.*, 2005). Segundo o mesmo autor, não existe consenso entre os autores sobre o nível crítico da densidade do solo, ou seja, o valor acima do qual o solo é considerado compactado.

TORRES & SARAIVA (1999) afirmam que a densidade varia de acordo com as características do solo, sendo que em solos argilosos varia de 1,0 a 1,45 Mg. m<sup>-3</sup> para condições de mata e muito compactados, respectivamente e para solos arenosos apresentam densidades variáveis entre 1,25 a 1,70 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. Já CAMARGO & ALLEONI (1997) consideram crítico o valor de 1,55 Mg m<sup>-3</sup> em solos franco-argilosos a argilosos.

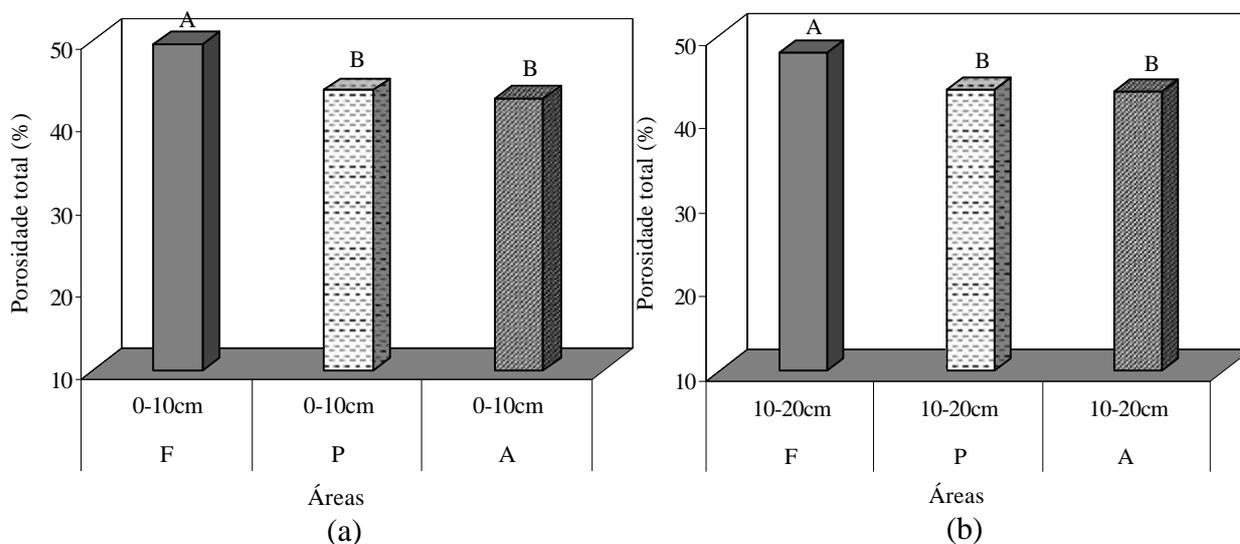
#### 4.4 Porosidade Total e Distribuição dos Poros

A porosidade total do solo é conceituada como sendo a proporção do volume do solo ocupado pelo ar e pela água. Os poros são classificados quanto ao tamanho (diâmetro), sendo os microporos os poros com diâmetro menores ou iguais a 0,05 mm e os macroporos aqueles com diâmetro superior a este valor (SCHNEIDER, 2007).

A microporosidade é responsável pela capacidade de retenção de água e solutos no solo, enquanto que a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração (RICHART *et al.*, 2005).

Desta forma, a quantidade e distribuição dos diferentes tamanhos de poros constituem-se em indicativos da capacidade de retenção de água e drenabilidade do solo.

Na área de estudo verificou-se que o solo sob Mata Atlântica apresentou os maiores valores de porosidade total, diferindo estatisticamente das demais áreas em ambas as profundidades (Figuras 15a e 15b).



**Figura 15:** Porosidade total do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades. (a) profundidade de 0-10 cm. (b) profundidade de 10-20 cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as áreas pelo teste de Tukey a 5%. C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 7%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 6%.

SPERA *et al.* (2006) encontraram resultados semelhantes, onde a floresta apresentou valores para porosidade total superior aos demais sistemas agrícolas estudados (produção de grãos integrados com pastagens anuais), refletindo as condições naturais de estruturação do solo sob floresta. ALBUQUERQUE *et al.* (2001) também observaram em floresta maior porosidade total na camada superficial em relação a lavouras sob plantio direto e sob preparo convencional de solo com arado e grade.

OLIVEIRA *et al.* (1995) & SILVA *et al.* (2005) estudando as propriedades físicas do solo sob área de floresta e plantio de cana-de-açúcar verificaram valores de porosidade total superiores na área sob floresta em comparação a áreas cultivadas.

De acordo com SOUTO (2006) a alteração do sistema poroso, por meio da compactação, altera a permeabilidade, a drenagem, a retenção de água, a concentração de CO<sub>2</sub> na zona radicular, a resistência do solo à penetração de raízes e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A distribuição dos poros (macro e microporosidade) das três áreas analisadas nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm encontram-se na Figura 16 (a,b).

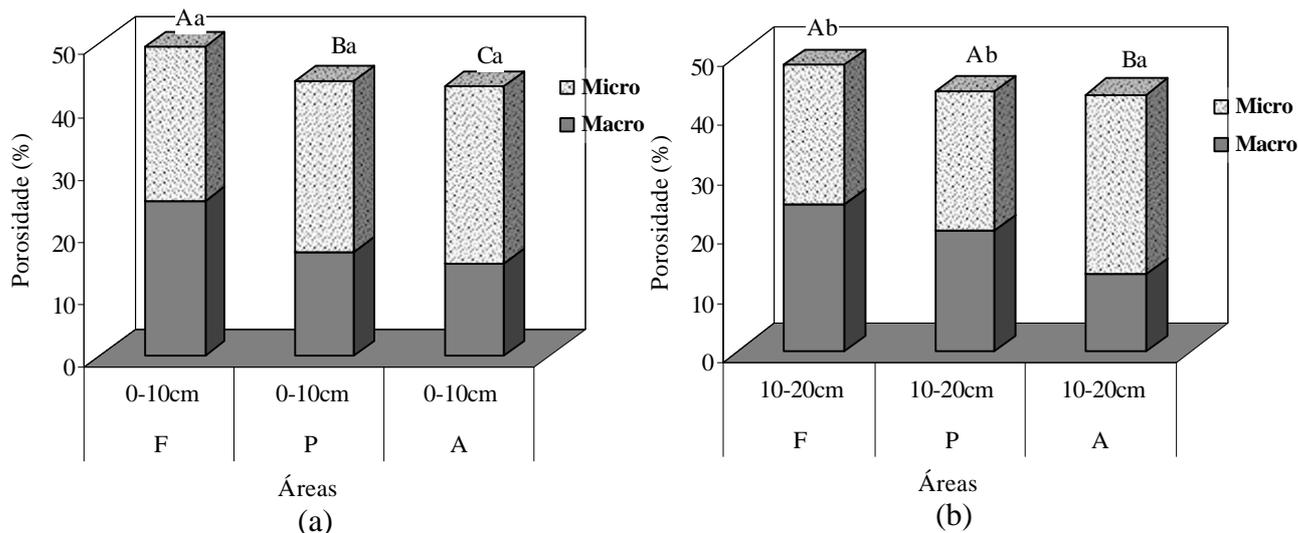


Figura 16: Macro e microporosidade do solo nos diferentes tipos de uso e profundidades. (a) profundidade de 0-10cm. (b) profundidade de 10-20cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas e minúsculas diferentes indicam, respectivamente, diferença estatística da macro e microporosidade entre as áreas pelo teste de Tukey a 5%. Macroporosidade - C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 20%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 18%. Microporosidade - C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 12%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 10%.

Observa-se que o solo pertencente à área florestal apresentou valores de macroporosidade superiores às áreas de plantio de banana e pastagem, em ambas as profundidades, no entanto, na profundidade de 10-20 cm esta diferença não foi estatisticamente significativa, em comparação a pastagem. Em relação à microporosidade verifica-se valores semelhantes entre as três áreas na profundidade de 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm o solo sob cultivo de banana apresentou valor de microporosidade superior as demais áreas.

Analisando-se as proporções dos micro e macroporos em relação à porosidade total, verifica-se que na área florestal a proporção entre os dois tipos de poros foi semelhante. Já nas áreas de pastagem e agricultura ocorreu predomínio de microporos, em ambas as profundidades. Este comportamento deve-se, em parte, ao aumento da densidade do solo verificada nessas duas áreas, o que acarreta redução da macroporosidade. Nesse processo de compactação, parte dos macroporos, podem ter sido transformados em microporos, explicando assim a maior proporção desses no volume total de poros do solo nos sistemas de manejo pastagem e agricultura.

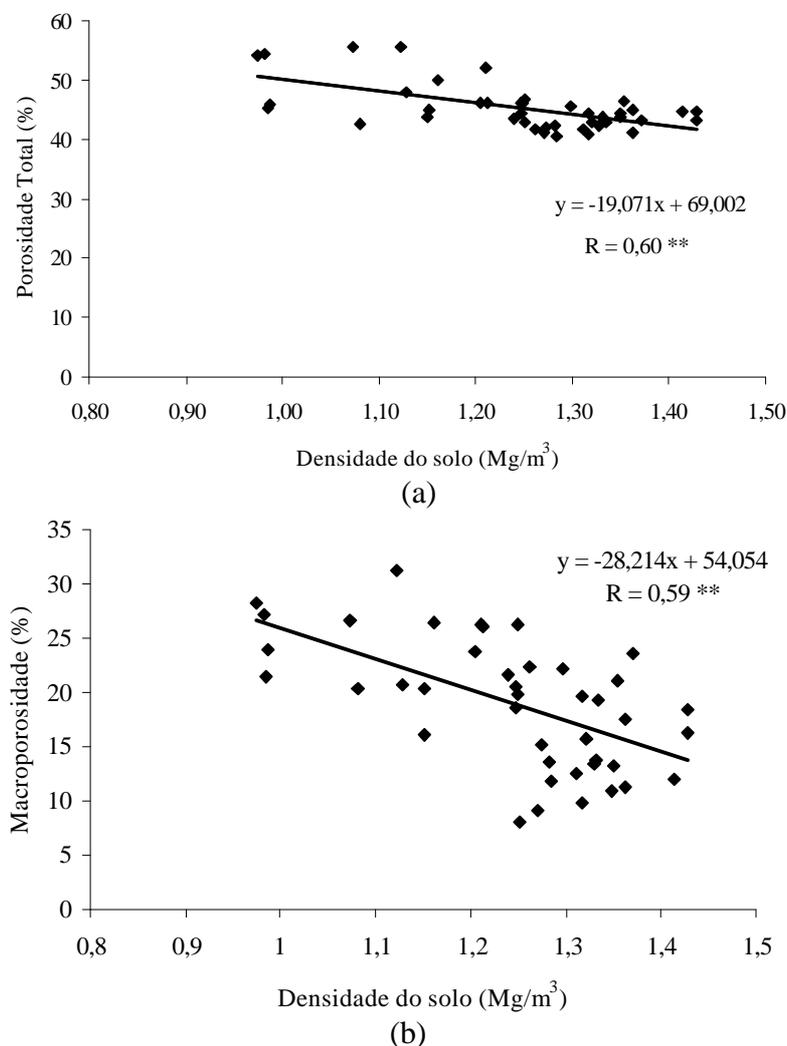
SPERA *et al.* (2004) avaliando os atributos físicos do solo sob sistemas de produção de grãos integrados com pastagens e sob floresta nativa observaram maior valor para a

macroporosidade na área florestal em comparação aos sistemas sob ação antrópica até a profundidade de 15 cm.

ANDREOLA *et al.* (2000) comparando solos sob cultura agrícolas e pastagem também não verificaram diferença entre os tratamentos para a microporosidade.

SPERA *et al.* (2006) em estudo desenvolvido no sul do país, encontraram valores de macroporosidade e microporosidade superiores na área de floresta quando comparado com os demais sistemas de produção (cultivo de grãos integrados com pastagem), justificando este comportamento pelo fato da área florestal não ter sido submetida a perturbações inerentes às atividades agrícolas.

A densidade do solo apresentou correlação estatisticamente significativa com a porosidade total e com a macroporosidade (Figuras 17a e 17b), apresentando um comportamento inversamente proporcional em relação a essas duas características, ou seja, à medida que a densidade do solo aumenta a porosidade total e a macroporosidade diminuem. Este resultado evidencia as interrelações existentes entre os diferentes atributos físicos do solo.



**Figura 17:** (a) Porosidade total e (b) macroporosidade em razão da densidade do solo em CAMBISSOLO HÁPLICO, Macaé-RJ. \*\* significativo a 1%.

Analisando-se a inclinação da linha de tendência (coeficiente angular), verifica-se que a variável macroporosidade se mostrou mais sensível as variações da densidade do solo, em comparação à porosidade total.

#### 4.5 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração expressa o grau de compactação do solo e é apontada como um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das plantas, variando de acordo com o tipo de solo e com a espécie cultivada (RICHART *et al.*, 2005). De acordo com o mesmo autor, o aumento da resistência à penetração provoca modificações morfológicas e fisiológicas específicas em cada espécie ou cultivar.

Em relação aos níveis críticos de resistência, diversos autores estabeleceram um valor de 2,0 MPa de resistência à penetração do solo, como o limite crítico acima do qual iniciam-se as condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (TAYLOR, 1966; TORMENA, 1998; SILVA *et al.*, 2002). De acordo com GRANT & LAFOND (1993) os valores que variam de 1,5 a 3,0 MPa são admitidos como limite crítico.

A compactação do solo acarreta, ainda, mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, principalmente em processos dinâmicos, tais como: movimentação da água, ar e nutrientes; crescimento radicular das plantas e na difusão térmica ao longo do perfil do solo (CANALLI & ROLOFF, 1995).

Os valores de resistência à penetração nas áreas de floresta, pastagem e agricultura nas profundidades de 10, 20 e 30cm, encontram-se na Tabela 2.

Visto que o teor de umidade do solo influencia a resistência à penetração, no ato das determinações da resistência foram efetuadas coletas de solo, com o intuito de verificar os teores de umidade do solo (Tabela 3).

**Tabela 2:** Resistência do solo a penetração nos diferentes tipos de uso e profundidades.

Uso	Resistência a penetração
	(MPa)
Profundidade de 10cm	
Floresta	1 C
Pastagem	5 A
Agricultura	4 B
Profundidade de 20cm	
Floresta	1 C
Pastagem	3 A
Agricultura	2 B
Profundidade de 30cm	
Floresta	1 B
Pastagem	2 A
Agricultura	2 A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, na mesma profundidade, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 22%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 29%. C.V.% para a profundidade de 20-30cm: 27%.

De acordo com a Tabela 2, verifica-se que a área sob Mata Atlântica apresentou os menores valores de resistência à penetração se diferenciando estatisticamente das demais áreas para as três profundidades analisadas (10 cm, 20 cm e 30 cm).

O solo sob pastagem apresentou valores de resistência à penetração superiores à área de plantio de banana nas três profundidades, no entanto, na profundidade de 30 cm esta diferença não foi estatisticamente significativa. Este resultado é corroborado com os altos valores de densidade do solo encontrados na área de pastagem, sendo justificado, possivelmente, pelo pisoteio animal na área.

CORREA & REICHARDT (1995), estudando o efeito do pisoteio de animal na compactação do solo, verificaram alterações na resistência do solo à penetração, sobretudo, na camada de 0-10 cm, havendo uma tendência em aumentar essa resistência com o tempo de pastejo.

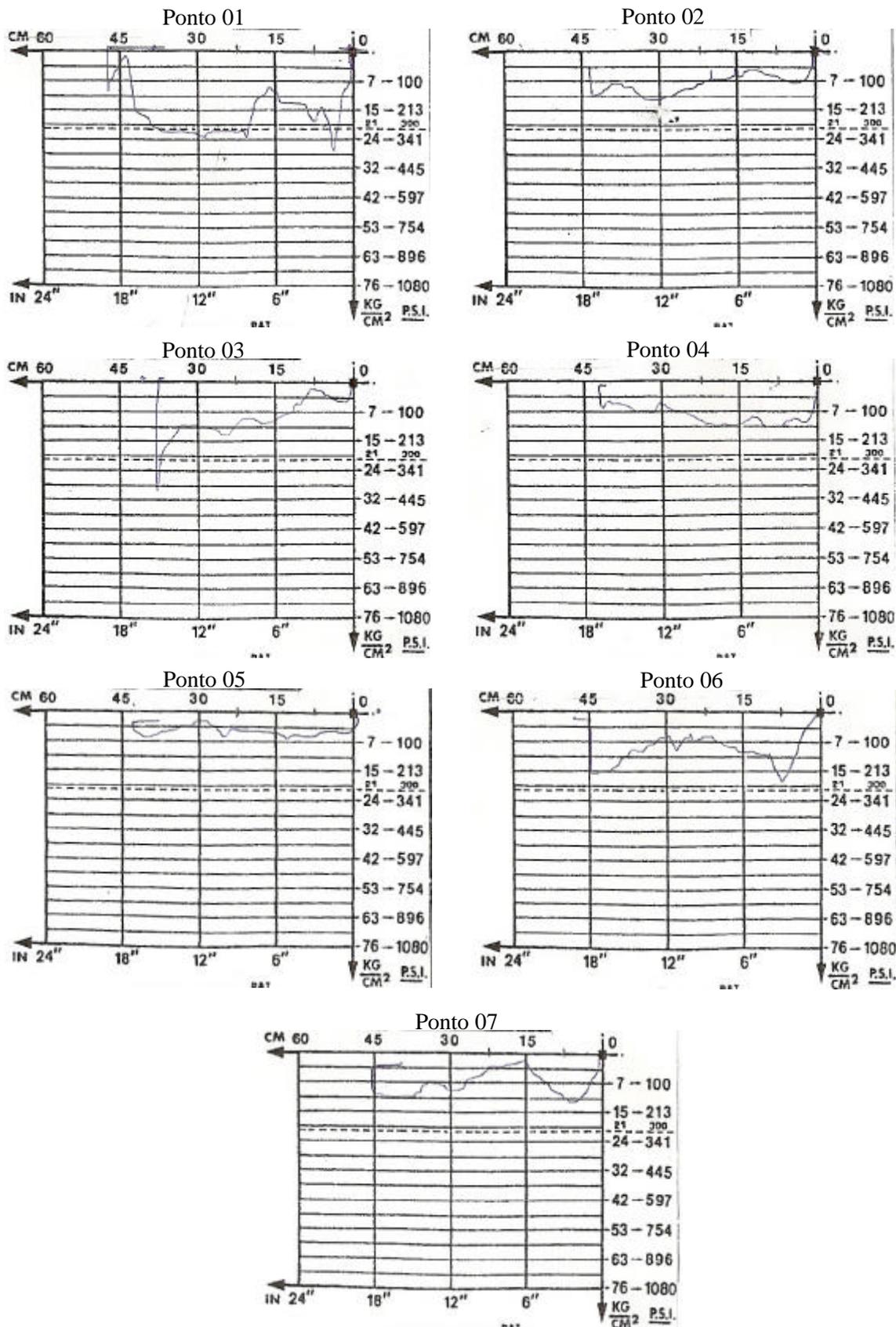
**Tabela 3:** Teores de umidade do solo (%) nos diferentes tipos de uso e profundidades.

Uso	Umidade	
	camada 0-10cm	
	camada 10-20cm	
	camada 20-30cm	
	camada 0-10cm	
Floresta	18,9A	
Pastagem	8,9 C	
Agricultura	11,8B	
	camada 10-20cm	
Floresta	17,6A	
Pastagem	10,3B	
Agricultura	15,8B	
	camada 20-30cm	
Floresta	17,2A	
Pastagem	12,1B	
Agricultura	17,9A	

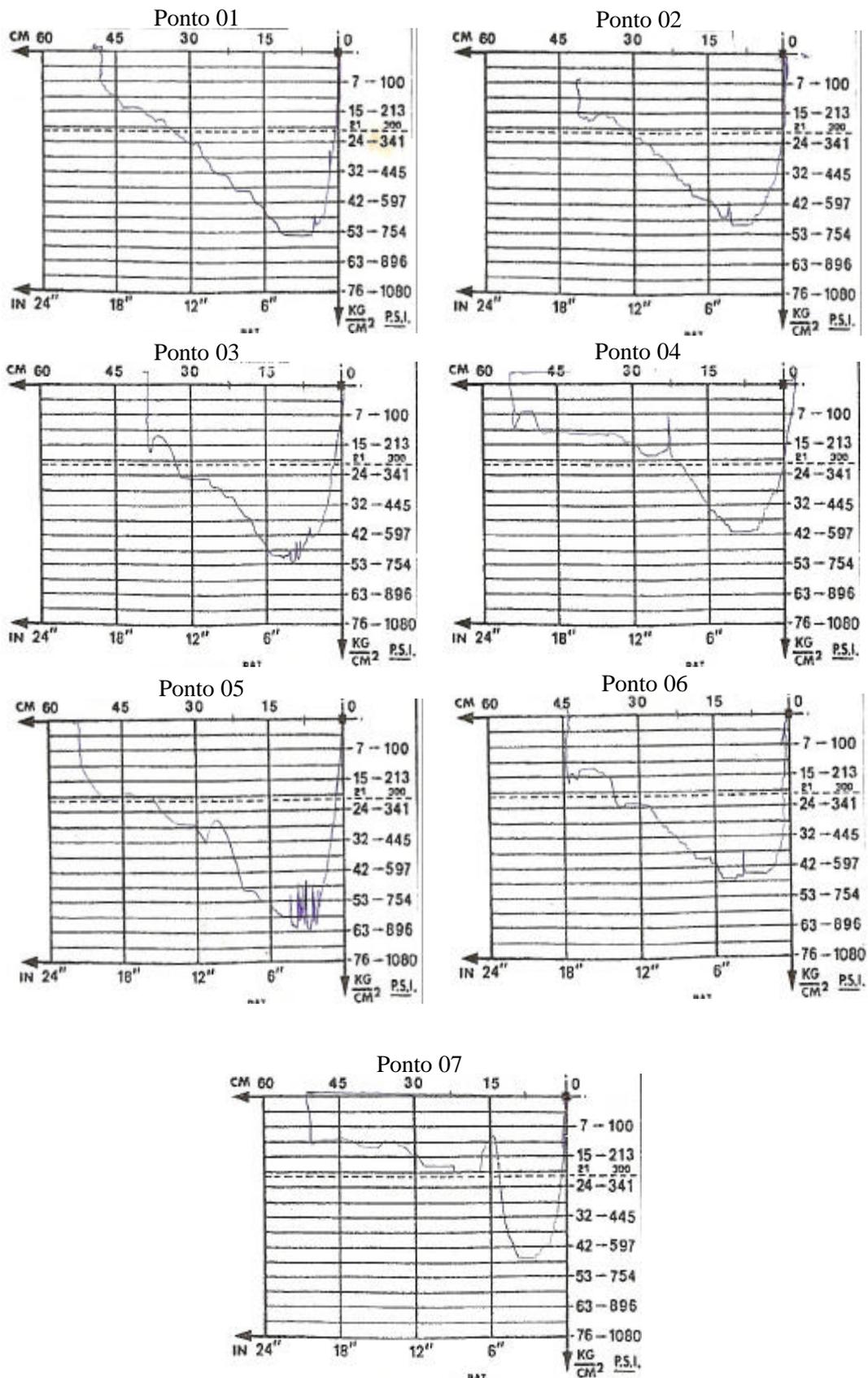
Médias seguidas pela mesma letra na coluna, na mesma profundidade, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). C.V.% para a profundidade de 0-10 cm: 13%. C.V.% para a profundidade de 10-20 cm: 16%. C.V.% para a profundidade de 20-30 cm: 16%.

Analisando-se os teores de umidade do solo constata-se que a área de floresta apresentou os maiores valores até a profundidade de 20 cm. Este fato pode ter ocasionado alterações na determinação da resistência à penetração, explicando, em parte, a menor resistência na área florestal. No entanto, por meio da avaliação dos gráficos gerados com o uso do penetrógrafo nas três áreas analisadas (Figuras 18, 19 e 20), é possível verificar um comportamento padrão nas áreas de pastagem e agricultura, com a presença de uma camada compactada entre a profundidade de 0-15 cm. Desta forma, os teores de umidade podem ter influenciado nos valores absolutos de resistência, mas o perfil dos gráficos, provavelmente, deve permanecer o mesmo.

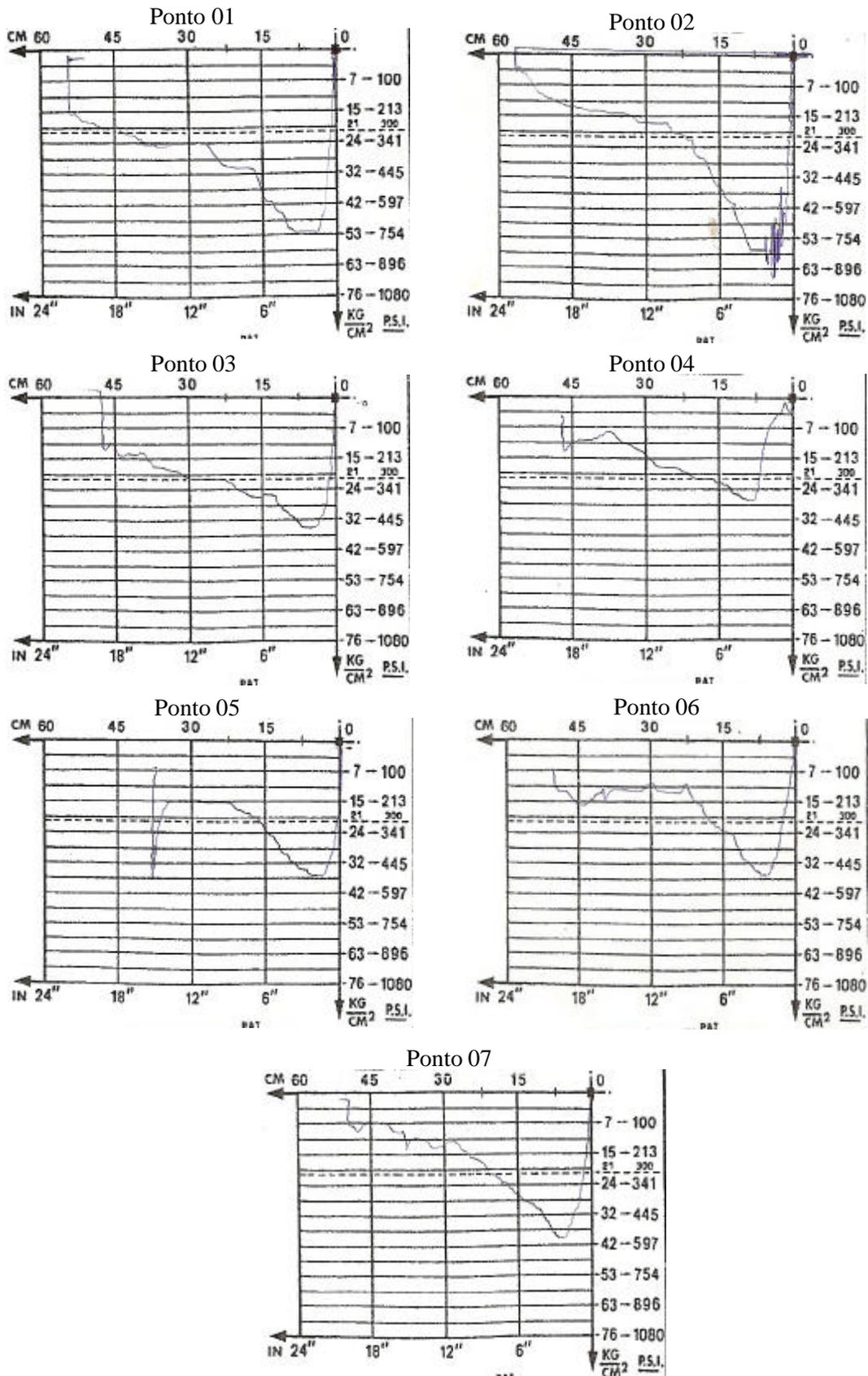
Por outro lado, o fato do solo sob floresta apresentar teor de umidade superior às demais áreas, evidencia que a presença da camada de serapilheira sob o solo florestal favorece a manutenção de água no sistema, demonstrando mais um serviço ambiental oferecido pelas florestas.



**Figura 18:** Gráficos registrados pelo penetrógrafo na área de floresta (Mata Atlântica). Eixo x: profundidade (cm). Eixo y: carga aplicada (Kg. cm<sup>-2</sup>). Marco tracejado: valor crítico (2MPa).



**Figura 19:** Gráficos registrados pelo penetrômetro na área de pastagem. Eixo x: profundidade (cm). Eixo y: carga aplicada (Kg. cm<sup>-2</sup>). Marco tracejado: valor crítico (2MPa).



**Figura 20:** Gráficos registrados pelo penetrógrafo na área de plantio de banana. Eixo x: profundidade (cm). Eixo y: carga aplicada (Kg. cm<sup>-2</sup>). Marco tracejado: valor crítico (2MPa).

Analisando-se os gráficos de resistência à penetração verifica-se que na área de pastagem e plantio de banana há a ocorrência de uma camada compactada entre a profundidade média de 0-15 cm, sendo esta mais pronunciada na área de pastagem, atingindo uma resistência de até 5,98 MPa (Ponto 05).

Observa-se que a resistência à penetração tende a diminuir em profundidade nas áreas sob pastagem e plantio de banana. Já na área sob floresta esta diminuição é menos evidente, demonstrando um comportamento mais homogêneo ao longo do perfil do solo.

A presença de uma camada compactada na área de pastagem deve-se, possivelmente, a carga aplicada pelos animais. Já na área de plantio de banana a presença de solo descoberto pode estar potencializando a compactação e desagregação do solo, devido ao impacto das gotas de chuva que promove o selamento superficial do solo. Além disso, o preparo do solo por meio da aração realizado na área pode favorecer a formação de uma camada compactada na subsuperfície.

CENTURION *et al.* (2001) comparando as propriedades físicas do solo sob floresta, pastagem e cultivo agrícola (milho e cana) encontraram comportamento semelhante, com a presença de uma camada compactada na parte superficial do solo na área de pastagem, em virtude do pisoteio dos animais.

A ocorrência de camada compactada no perfil do solo prejudica o desenvolvimento das plantas, uma vez que limita mecanicamente o crescimento radicular, resultando em menor volume de solo explorado, e conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes.

#### **4.6 Infiltração de Água no Solo**

O estudo da permeabilidade do solo é importante para a avaliação do balanço hídrico da bacia hidrográfica, da quantidade de água necessária para irrigação e da capacidade de armazenamento de água no solo.

Diversos fatores influenciam a permeabilidade do solo, dentre eles se destacam: a composição mineralógica do solo, as características dos fluidos percolantes, o tipo de uso e manejo do solo e a presença de matéria orgânica, a qual influencia diretamente na agregação do solo (AGUIAR, 2001).

Analisando-se os resultados obtidos, verifica-se que a área coberta por floresta natural apresentou valores de infiltração de água no solo estatisticamente superiores às demais áreas (Figura 21), evidenciando a importância da cobertura florestal na otimização da infiltração de água no solo. Parte deste resultado deve-se a maior porosidade, sobretudo, macroporosidade encontrada no solo sob floresta, que proporciona uma melhor drenabilidade. Além disso, a interceptação das gotas das chuvas pelo dossel florestal diminuiu a energia cinética da água da chuva e conseqüentemente, o selamento superficial do solo.

A taxa de infiltração na área coberta por agricultura (plantio de banana) apresentou valores superiores à área de pastagem, no entanto, esta diferença não foi estatisticamente significativa.

Os menores valores de infiltração encontrados nas áreas de pastagem podem ser explicados pela maior compactação do solo nessa área, em virtude do pisoteio do gado, que forma uma camada compactada na parte superficial do solo, acarretando conseqüências negativas como o aumento do escoamento superficial e, por conseqüência, aumento dos processos erosivos.

Esses resultados são corroborados pelo estudo realizado por CENTURION *et al.* (2001) em um LATOSSOLO VERMELHO, onde foram encontrados

valores de infiltração de água no solo superiores na área coberta por floresta, seguida por áreas cobertas por agricultura (milho e cana-de-açúcar) e pastagem, respectivamente.

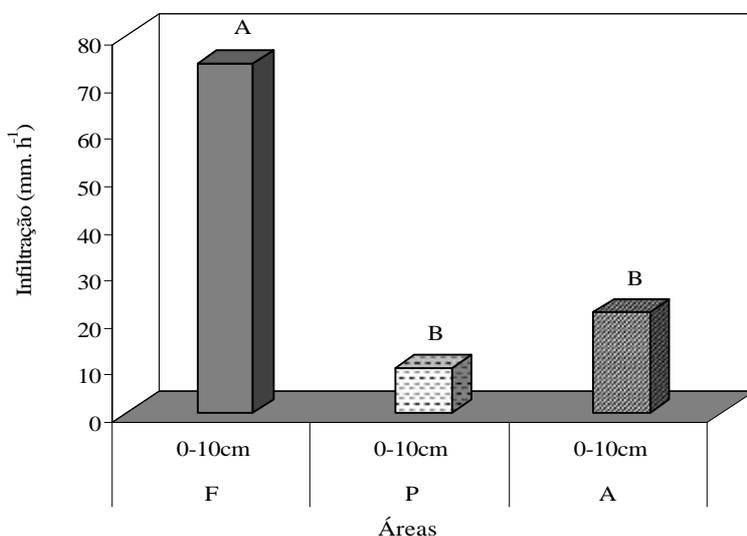


Figura 21: Infiltração de água no solo nos diferentes tipos de uso, na profundidade de 0-10cm. F: floresta; P: pastagem; A: agricultura. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística entre as áreas na profundidade de 0-10cm pelo teste de Tukey a 5%. C.V.: 16%.

BORGES *et al.* (2005) encontraram valores de infiltração semelhantes aos observados na microbacia Glória, com valores médios superiores na área sob cobertura florestal (94,81 mm/h), seguido pela área com plantio de cana-de-açúcar (36,01 mm/h) e pastagem (8,99 mm/h).

SOUZA *et al.* (2004) comparando distintos usos do solo também encontraram valores médios de infiltração de água superiores na área de floresta, seguido das áreas com culturas agrícolas (guaraná, milho, laranja e pupunha) e pastagem, respectivamente. Assim como, SILVA *et al.* (2005) que verificaram uma redução significativa nos valores de condutividade hidráulica saturada (Ks) nos solos sob plantio de cana-de-açúcar em relação ao solo sob floresta nativa nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm.

De acordo com BEST *et al.* (2003) & BACELLAR (2005) os solos sob floresta tendem a apresentar capacidade de infiltração mais expressiva quando comparada às pastagens e culturas agrícolas em função da significativa porosidade, especialmente macroporosidade, proporcionada por raízes mortas e cavidades criadas por organismos.

De acordo com VALENTE (1999) a produção de água com regularidade em uma microbacia depende de dois processos principais do ciclo hidrológico: a infiltração e a evapotranspiração. O autor explica que a infiltração possibilita o armazenamento temporário de uma parte da água no solo, enquanto que o segundo, devolve parte da água à atmosfera.

Segundo LEONARDO (2003) quanto melhor as condições de infiltração da microbacia, maior a regularidade do regime de vazão ao longo do ano e maior a disponibilidade de água no perfil do solo. Além disso, solos com drenabilidade adequada minimizam o escoamento superficial e, por consequência, a dinâmica dos processos erosivos.

De acordo com o mesmo autor, a taxa de infiltração da água no solo constitui um importante indicador hidrológico da saúde de microbacias hidrográficas, pois este indicador

permite avaliar a predominância dos processos hidrológicos, onde em microbacias saudáveis o fenômeno de infiltração se sobrepõe ao escoamento superficial.

Este fato torna-se importante para o gerenciamento ambiental das microbacias hidrográficas, pois, uma vez identificadas as áreas potenciais para produção de água e as áreas mais suscetíveis a erosão dentro da microbacia, as mesmas podem ser manejadas por meio de técnicas de reflorestamentos ou enriquecimento, possibilitando otimizar os serviços ambientais associados a produção e manutenção de água dentro do sistema.

Baseado nos resultados referentes às propriedades físicas dos solos sob Mata Atlântica, pastagem e agricultura, foi possível verificar que os atributos físicos são interdependentes, ou seja, modificações em uma característica levam a alterações nas demais.

Constatou-se que nas áreas de pastagem e agricultura a diminuição dos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados foi devido, em parte, a redução dos teores de carbono orgânico do solo. Observou-se, ainda, que a aumento da densidade do solo, nestas duas áreas, acarretou redução da porosidade, que por sua vez ocasionou diminuição nas taxas de infiltração de água. A constatação da presença de uma camada compactada nos solos sob pastagem e plantio de banana, também contribuiu para este efeito.

Assim, considerando-se que a infiltração de água reflete diretamente as condições físicas do solo, tais como estrutura, porosidade e presença de camadas compactadas, pode-se inferir que o solo sob Mata Atlântica apresentou qualidade física superior aos demais usos, confirmando a hipótese de que a floresta gera serviços ambientais na manutenção da qualidade física do solo, favorecendo, por sua vez, a regulação hídrica e a conservação do solo nas bacias hidrográficas.

#### 4.7 Características químicas dos solos

Os dados referentes à fertilidade dos solos sob floresta, pastagem e plantio de banana, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4:** Valores de pH, P disponível e complexo sortivo de solos sob diferentes tipos de uso, média de sete repetições.

Usos	pH	P	K	Na	Ca	Mg	S	H+Al	Al <sup>+3</sup>	T	V
	H <sub>2</sub> O	mg.Kg <sup>-1</sup>	cmolc.dm <sup>-3</sup>								%
camada 0-10cm											
Floresta	4,28 C	8 A	0,2 A	0,02 A	0,6 B	0,6 B	1,49 B	6,9 A	0,9 A	8,35 A	18 C
Pastagem	5,24 A	5 B	0,2 A	0,03 A	0,9 A	1,3 A	2,41 A	3,5 C	0,0 C	5,90 B	41 A
Agricultura	4,87 B	4 C	0,2 A	0,03 A	0,6 B	0,9 B	1,72 B	4,5 B	0,4 B	6,25 B	27 B
C.V.	4%	34%	41%	36%	26%	22%	15%	18%	46%	14%	14%
camada 10-20cm											
Floresta	4,39 B	6 A	0,1 A	0,01 B	0,4 B	0,7 A	1,26 B	4,9 A	0,7 A	6,16 A	23 A
Pastagem	5,19 A	4 B	0,1 A	0,03 A	0,8 A	0,9 A	1,85 A	3,7 A	0,1 B	5,53 A	33 A
Agricultura	4,74 B	3 B	0,2 A	0,03 A	0,5 B	0,8 A	1,49 B	4,5 A	0,7 A	5,94 A	25 A
C.V.	6%	30%	42%	29%	32%	23%	16%	27%	57%	20%	29%

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, na mesma profundidade, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Verifica-se que a área florestal apresentou os menores valores de pH em ambas as profundidades e a área de pastagem os maiores valores. O solo sob plantio de banana apresentou pH estatisticamente superior a floresta somente na profundidade de 0-10 cm, na

camada subjacente (10-20 cm) as duas áreas apresentaram valores de pH estatisticamente iguais.

BARRETO *et al.* (2006), estudando as características físicas e químicas do solo sob floresta, plantio de cacau e pastagem, no sul da Bahia, também encontraram valores de pH estatisticamente diferentes entre os três usos do solo na profundidade de 0-10 cm, com valores de 4,50; 5,01 e 5,65 para floresta, cacau e pastagem, respectivamente.

De acordo com o mesmo autor, os solos sob floresta geralmente apresentam menores valores de pH, uma vez que a mineralização da matéria orgânica e os exudatos ácidos liberados pelas raízes das plantas contribuem para acidificar o solo.

Além do menor valor de pH, a área florestal foi a que apresentou maior acidez potencial ( $H^+ + Al^{+3}$ ), diferindo estatisticamente das demais áreas na profundidade de 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm, não foi encontrada diferença estatística entre as áreas. Em relação aos teores de  $Al^{+3}$  foram verificados valores superiores a  $0,3 \text{ cmolc. Kg}^{-1}$  nas áreas de floresta e plantio de banana em ambas as profundidades. Na área de pastagem os valores de  $Al^{+3}$  foram inferiores a  $0,1 \text{ cmolc.Kg}^{-1}$ . FEITOSA (2004) em estudo realizado em um fragmento florestal de Mata Atlântica, em Pernambuco, também verificou baixo pH, elevada acidez potencial e elevados teores de alumínio trocável na área florestal. BARRETO *et al.* (2006) encontraram o mesmo comportamento em seu estudo, com valores de acidez potencial superiores na área florestal, seguida pela área com plantio de cacau e pastagem, respectivamente.

Os níveis de  $Ca^{+2}$  foram estatisticamente superiores na área de pastagem em relação aos usos floresta e agricultura, em ambas as profundidades. Os teores de  $Mg^{+2}$  também foram superiores na área de pastagem na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm não foi encontrada diferença estatística entre as áreas em relação aos níveis desse elemento. Os valores da soma de bases trocáveis (S) e saturação por bases (V%) acompanharam os teores desses elementos, apresentando valores superiores na área de pastagem.

Parte desses resultados deve-se ao fato da área de floresta não ter recebido calagem, como ocorreu nas áreas de pastagem e plantio de banana. Possivelmente, as eventuais aplicações de calcário nessas áreas contribuíram para os maiores teores de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  encontrados. A presença de carbonatos adicionados com a calagem proporcionou a elevação de pH. Além disso, a elevação dos níveis de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  ocasionaram, por sua vez, elevação da soma de bases (S), do percentual de saturação por bases (V%) e neutralização de parte do Al trocável.

No entanto, observa-se que a diferença dessas características entre as áreas tende a diminuir em profundidade, demonstrando que os efeitos da calagem, restringem-se as zonas de aplicação ou imediatamente abaixo delas, conforme afirma ERNANI (2001).

Os teores de fósforo foram baixos em todas as áreas, no entanto, verifica-se que a área de Mata Atlântica apresentou teores de fósforo (P) superiores as demais áreas em ambas as profundidades. Observa-se também que o teor de P diminui em profundidade, evidenciando a pouca mobilidade do elemento no solo e a baixa solubilidade de seus compostos. Quanto aos teores de potássio não constatou-se diferença estatística entre as áreas analisadas.

SILVA *et al.* (2006) comparando o efeito de diferentes usos da terra sobre as características químicas do solo, também observaram diminuição dos teores de fósforo nos horizontes mais profundos. De acordo com MORAES (1993) o acúmulo de P na parte mais superficial do solo é decorrente da decomposição dos resíduos de plantas e dejetos de animais.

Segundo MARIN (2002) de 15 a 80% do P total encontrado no solo pode ser proveniente da matéria orgânica. Desta forma, a serapilheira aportada na área de Mata

Atlântica pode estar contribuindo para o fornecimento de P, sobretudo na camada superficial do solo, além de estar diminuindo a possibilidade de fixação do elemento.

O solo sob Mata Atlântica apresentou também os maiores valores de CTC (valor T) na profundidade de 0-10 cm. Este fato deve-se, em parte, aos elevados teores de  $H^+$  +  $Al^{+3}$  encontrado na área. De acordo com CANELLAS *et al.* (2000) a capacidade de troca de cátions é fortemente influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais. Desta maneira, os maiores valores de carbono orgânico encontradas no solo sob floresta, sobretudo, na camada superficial do solo, pode estar influenciando nos valores de CTC verificados na área.

Baseado nos resultados dos atributos químicos dos solos das três áreas analisadas verifica-se que apesar de não haver informações detalhadas referentes às datas e frequências das aplicações de calcário nas áreas de pastagem e plantio de banana, essas correções ocasionaram efeitos na qualidade química dos solos, carecendo de um monitoramento a médio e longo prazo. No entanto, ficou evidenciado que o componente florestal é importante para a manutenção de elevados teores de carbono orgânico e P no solo, elemento este, essencial para o desenvolvimento dos vegetais e normalmente encontrado em baixos teores na maioria dos solos brasileiros.

Atualmente, tem-se o consenso de que o solo não constitui-se como um doador inerte de nutrientes, mas como um compartimento do sistema vivo e dinâmico, cuja a disponibilidade de nutrientes deve-se, em grande parte, a ciclagem de nutrientes promovida pelos vegetais.

Desta forma, a serapilheira aportada nos ecossistemas florestais atua como um sistema de entrada e saída, tendo como entrada o material orgânico fornecido pela vegetação e como saída a mineralização de nutrientes, via decomposição (ARATO, 2003). Já em sistemas antropizados, tais como pastagem e cultivos agrícolas a entrada de nutrientes no sistema é dependente, em grande parte, pelo “input” de elementos via adubação.

## 5. CONCLUSÕES

Os atributos físicos escolhidos funcionaram como indicadores da qualidade do solo sendo sensíveis aos diferentes sistemas de manejo e permitindo a avaliação dos serviços ambientais gerados pela floresta. Esses serviços ambientais foram demonstrados pelos maiores valores de carbono orgânico do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, porosidade total e macroporosidade e taxa de infiltração de água, encontrados no solo sob Mata Atlântica. Além disso, a área florestal apresentou, ainda, os menores valores de densidade do solo e resistência à penetração. Todos esses fatores integrados evidenciam que o solo sob floresta proporciona, pela sua melhor estruturação física, uma maior drenabilidade e, por consequência, favorece o armazenamento de água e a recarga do lençol freático, além de minimizar o escoamento superficial e a erosão hídrica.

Em relação aos atributos químicos do solo ficou evidenciado que o componente florestal é importante para a manutenção de elevados teores de carbono orgânico e P no solo, elemento este, essencial para o desenvolvimento dos vegetais e normalmente encontrado em baixos teores na maioria dos solos brasileiros.

As principais modificações na qualidade do solo decorrentes dos usos pastagem e plantio de banana foram: diminuição do teor de carbono no solo, refletido pela redução dos valores do diâmetro médio ponderado dos agregados; aumento da densidade do solo, com consequente diminuição da porosidade e da infiltração de água e a formação de uma camada compactada na parte superficial do solo, tornando-o mais suscetível à erosão.

Desta forma, o estudo demonstrou a importância da Mata Atlântica no tocante da manutenção da qualidade estrutural do solo, e ainda, auxiliou na compreensão das alterações que podem ocorrer no solo em virtude das mudanças nos tipos de uso.

Espera-se que o presente estudo contribua para subsidiar a formulação e implementação de políticas de conservação e gestão de recursos hídricos e florestais, resgatando a compreensão do papel estratégico das florestas para o equilíbrio do ciclo hidrológico regional.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACTON, D.F.; PADBURY, G.A. 1993. **A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring.** In: Pankhurst, C.; Doube, B.M.; Gupta, V.V.S.R. (eds.).1997. Biological Indicators of Soil Health. Cab International, Oxon, U.K. pp 1-23.
- AGUIAR, A.B.de. **O emprego do Permeômetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura.** Dissertação de Mestrado. UFRJ. 90p., 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeitos da integração lavourapecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.717-723, 2001.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M. & OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:857-865, 2000.
- ANDRIAANSE, A. Environmental Policy Performance Indicators. Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, the Hague, The Netherlands.1993.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L.; AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da Terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.307 – 315, 2004.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no laboratório de hidrologia florestal Walter Emmench, Cunha - SP. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v.9, n.2, p.153-70, 1997.
- BACELLAR, L.A.P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas.** Geo.br <http://www.degeo.ufop.br/geobr> (2005).
- BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; FREIRE, M.B.G.S.; ARAÚJO, Q.R.de; FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v.19, n.4, p.415-425, outubro/dezembro 2006.
- BENEDITO, C. **O município e o meio ambiente: das áreas de preservação permanente.** Piracicaba, 2001. 29 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de Piracicaba, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.de; ALMEIDA, E.X.de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão. **Rev. Pesq. Agropec. Bras.**, vol.35, n.5, p.1047-1054, 2000.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO F. **Conservação do solo.** Editora Ícone, São Paulo, 1990.
- BEST, A., ZHANG, L., MCMAHOM, T., WESTERN, A. e VERTESSY, R. A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flow and climatic variability. **Land and Water Technical.** MDBC Publication 56 p. (Technical Report), Australia, 2003.

- BORGES, M.J.; PISSARRA, T.C.T.; VALERIS,V.; OKUMURA, E.M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jacoticabal, SP. **Rev. Scientia Forestalis**. n. 69, p.93-103, dez., 2005.
- BRAGA, R A P. **A Água e a Mata Atlântica**. In: Anais do VII Seminário Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. CNRBMA, Ilhéus , p. 01-10. 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. Manual Operativo. Brasília, DF, Coordenação Nacional do PNMH, Ministério da Agricultura, 1987,60p.
- BRASIL, F. da COSTA. **Variabilidade espacial e temporal de características morfológicas do sistema radicular de gramíneas forrageiras**. Dissertação (Mestrado). Seropédica: UFRRJ, 2005, 137p.
- BRITO, ROBERTO JOSINO de. **Indicadores de qualidade do solo em ambiente de tabuleiros costeiros na região norte fluminense, RJ**. 2005. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 132p. 1997.
- CAMACHO, D. C. **Influencia de los Bosques en los Cursos de Agua**. In: IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas. Foz do Iguaçu, MMA/OEA. 2001.
- CAMPOS, D.V.B.; BRAZ, S.P.; MACHADO, P.L.O.; SANTOS, G.A.; LIMA, E.; ALVEZ, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em Argissolo de Conceição da Barra –ES. **Circular Técnica**. N. 10, EMBRAPA. Seropédica-RJ. Dezembro, 2004.
- CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.19, n. 1, p. 121-126, 1995.
- CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G. da; SILVA, M. B. e; SANTOS, G. de A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 133 – 143, 2000.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.N.; RESENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivados com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Vol.27.nº 5. Viçosa. Set/Out., 2003.
- CARTER, M.R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. **Agronomy journal**. Vol.94. 38-47p. 2002.
- CARVALHO, D. F.; SILVA L. D. B. Apostila de Hidrologia, 2003.
- CASSOL, E.A. A experiência gaúcha no controle da erosão rural. In: Simpósio sobre o controle da erosão, 2., 1981, São Paulo. *Anais...* p.149-81.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

- 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. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.254-258, 2001.
- CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso de pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p. 107-114, 1995.
- DONADIO, N. M. M., GALBIATTI, J. A. e PAULA, R. C. de. **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil.** *Eng. Agríc.*, jan./abr. 2005, vol.25, no.1, p.115-125.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 1-54, 1996.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, RJ, 1997. 212p.
- ENDRES, P.F., PISSARRA, T.C.T., BORGES, M.J., POLITANO, W. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no Município de Franca – SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.200-207, jan./abr. 2006.
- ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola **Scientia Agricola**, v.58, n.4, p.825-831, out./dez. 2001.
- FEITOSA, A. A. N. **Diversidade de espécies florestais arbóreas associada ao solo em toposeqüência de fragmento de Mata Atlântica de Pernambuco.** 2004. 102f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.
- GASPARINO, D.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; SOUZA, I. Quantificação do banco de sementes sob diferentes usos do solo em área de domínio ciliar. **Rev. Árvore**, Fev.2006, vol.30, nº1.p.1-9.
- GELUDA, L.; YOUNG, C. **Pagamento por Serviços Ecossistêmicos previstos na Lei do SNUC – Teoria, Potencialidades e Relevância.** In: *Simpósio de Áreas Protegidas*. Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, 2005.
- GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal Soil Science**. Ottawa, v.73, n.2, p.223- 232, 1993.
- GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.
- GUERRA, J.K.; SILVA, A.S., BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** São Paulo, IBGE. Manuais Técnicos em Geociências n.1. 1992. 92p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Plano Diretor de Conservação dos Recursos Hídricos por meio de Recuperação e da Conservação da Cobertura Florestal da Bacia do Rio Corumbataí.** Piracicaba, 301 pp.2002.

ISLAN, K.R.; WEIL R.R. Soil Quality Indicator Properties in Mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**. V.55, p.69-78, Jan/Mar, 2000.

JUNIOR, M.M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Jun/2000. vol.35. nº6. p.115-125.

KARLEN, D.L.; WOLLWHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S.; JORDAHL, J.L. Crop residue effects on soil quality following 10 years of no till corn. Soil tillage residue. V.31.p.149-167,1994.

KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C.. Aggregate Stability and Size Distribution. **In: Methods of Soil Analysis: Part 1- Physical and mineralogical methods**. 425-433p. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of América, Inc. Second Edition, Madison, Wisconsin USA. 1986.

LAL,R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. **Emprapa Meio Ambiente**, 1999.97p

LANNA, Antônio E. **Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: Aspectos Conceituais e Metodológicos**. Brasília, IBAMA / MMA, 171pp. 1995.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da bacia hidrográfica do rio Passo Cue, região Oeste do estado do Paraná**. Dissertação (mestrado em ciências florestais). 2003. 90f. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz-ESALQ-USP. Piracicaba.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.Hidrologia de Matas Ciliares. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, FAPESP, 2000.

MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. **Propriedade de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol. 39, Nº 1, p.79-87, 2004.

MAN YU, C. **Seqüestro Florestal de Carbono no Brasil – Dimensões Políticas, Socioeconômicas e Ecológicas**. Tese de doutorado. UFPR, Curitiba, 2004.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 83p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

MBAGWU, J.S.C. Mulching on Ultisol in southern Nigéria : Effect on physical properties and maize and cowpea yields. **Journal Science Food Agric**. V. 57, p. 517-520. 1991.

MELO, A.W.F.de. **Avaliação do estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP Piracicaba. 73p. 2003.

MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P.; MELLONI, R. Aplicação de Atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/Mg. **Cerne, Lavras**, v. 12, n. 3, p. 211-220, jul./set. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional da Biodiversidade** (segunda versão). Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília. 41 pp. 2002.

MONTEBELO, L.A.; CASAGRANDE, C.A.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; CUTOLO, A.P.A.. **Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP**. Anais XII

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3829-3836.

MORAES, A. de. Pastagem como fator de recuperação de áreas degradadas. In. Simpósio sobre Ecossistema de Pastagem, 2, 1993, Jaboticabal. **Anais...** p.191-215, 1993.

MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

OAKLEY, G. **Environmental indicators for sustainable agriculture**. Bureau of Rural Resources, Land and Water Resource Research and Development Corporation. Canberra, 1991. p.49-53.

OLIVEIRA, J.C.M. de; VAZ, C.M.P.; REICHARDT, K. Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em propriedades físicas de um Latossolo vermelho escuro. **Revista Ciência Agrícola**, Piracicaba, 52 (1): 50-55, jan./abr. 1995.

PEREIRA, J.C. & MOLINARIA, A. **Experiências com microbacias em Santa Catarina**. Resumo da mesa redonda. 5º Simpósio Nacional de Controle da Erosão. Anais. Boletim de Campo. Bauru, SP, p.85-88, 1995.

PERIN, E.; CERETTA, C.A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Ago/2003. vol.27. nº4. p.665-674.

PINHEIRO, E.F.M.P. **Frações orgânicas e agregação em Latossolo Vermelho em função dos sistemas de oleráceas em Paty do Alferes, RJ**. 2002. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – CPGACS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

POLITANO, W.; LATANZE, R.J.; LOPES, L.R.; AMARAL, C.; CORSINI, P.C.; SILVA, G.W. de L. Ocupação do solo e estados da erosão acelerada no município de Mococa, SP. **Revista de Geografia**, São Paulo, v.11, p.47-61, 1992.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ, Plano de manejo da APA do rio Sana, Macaé. 120p. 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAÉ, Diagnostico ambiental da faixa marginal de proteção do rio Sana, Macaé. 110p. 2004.

RANZINI, M.; LIMA, W.P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Rev. Scientia Forestalis**, n. 61, p. 144-159, jun. 2002.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

RIVA, A.L.M.da.; FONSECA, L.F.L.da; HASENCLEVER, L. **Instrumentos Econômicos e Financeiros para a Conservação Ambiental no Brasil**. Relatório: Instituto Socioambiental (ISA), 2007.

ROMEIRO, A. R. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** Texto para Discussão, n. 102.IPEA. IE/UNICAMP, 2001.

SCHNEIDER, P. Morfologia do solo: subsídios para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SEROA DA MOTTA, R. **Indicadores Ambientais no Brasil: Aspectos Ecológicos, de eficiência e distributivos**. Texto para Discussão N° 403. IPEA. Rio de Janeiro, 1996.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas. São Carlos: RIMA, 2003.

SILVA, A.J.N.da; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. R. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo amarelo de tabuleiro costeiro **Bras. Ci. Solo**, 29:833-842, 2005.

SILVA, G.R.da; SILVA JR., M.L.da; MELO, V.S.de. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo amarelo do Estado do Pará. **Rev. Acta Amazonica**. vol. 36(2), 151-158p, 2006.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.4, n.1, p.24-9, 1975.

SOUTO, M.S. **Pastagem de Aveia e Azevém na Integração lavoura-pecuária: Produção de Leite e características do solo**. Dissertação (mestrado). UFPR, Curitiba, 2006.

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

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI R. S.; TOMM G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:533-542, 2004.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto **Ciência Rural**, v.36, n.4, jul-ago, 2006.

SUAREZ de CASTRO, F. **Conservacion de Suelos**. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, 1980.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**. New Brunswick v.102, p.18-22, 1966.

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

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistema agrícolas com soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSoja, 58p. Circular Técnica, n. 23. 1999.

VALENTE, O.F. Manejo de bacias. **Ação Ambiental**, v.1, n.3, p.5-6, 1999.

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, V.47-50, p.32-33. 1998.

WALKER, J.; REUTER, D.J. Indicators of catchment health: a technical perspective. Melbourne:CSIRO, 1996. 174p.

WINOGRAD, M. **Indicadores ambientales para Latinoamérica y Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras**. Organización de los Estados Americanos, Intitutito de Recursos Mundiales. San José, C.R., 1995.

YODER, R.E. A Direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature erosion losses. **J. Am. Soc. Agric.** 28: 337-351, 1936.

YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. **Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia**. I Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Texto para discussão no. 489. Campinas/Águas de Lindóia, 1997.