



**EROSÃO HÍDRICA DE LATOSSOLO
VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO EM ÁREA
DE PÓS-PLANTIO DE EUCALIPTO NA
REGIÃO DE GUANHÃES (MG)**

LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO

2004

57598

049274

LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO

**EROSÃO HÍDRICA DE LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO
TÍPICO EM ÁREA DE PÓS-PLANTIO DE EUCALIPTO NA REGIÃO
DE GUANHÃES (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

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

Brito, Liziane de Figueiredo

Erosão hídrica de Latossolo Vermelho Distrófico típico em áreas de pós-plantio de eucalipto na Região de Guanhães (MG) / Liziane de Figueiredo Brito. – Lavras : UFLA, 2004.

78 p. : il.

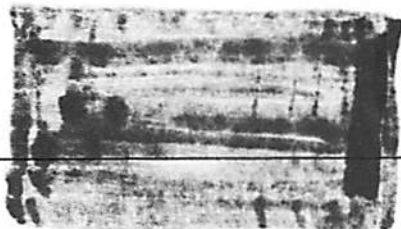
Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Conservação do solo. 2. Erosão. 3. Eucalipto. 4. Manejo. 5. Atributo físico. 6. Reflorestamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.45



LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO

**EROSÃO HÍDRICA DE LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO
TÍPICO EM ÁREA DE PÓS-PLANTIO DE EUCALIPTO NA REGIÃO
DE GUANHÃES (MG)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 19 de fevereiro de 2004.

Prof. Dr. Nilton Curi

DCS/UFLA

Dr. Fernando Palha Leite

CENIBRA S.A.

Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira

DCS/UFLA

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

“Tudo posso naquele que me fortalece”

(Filipenses, 4,13)

A Deus, em especial, por todas as graças alcançadas!

OFEREÇO

A meus pais, Ruy e Leila, a Luciano, Laiza, vó Dote, Bianca e Renata, e ao meu namorado Roberto, por seu amor, incentivo, apoio incondicional e sentido especial que dão à minha vida!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciência do Solo da UFLA, CAPES e CENIBRA/S.A. pela oportunidade de aprimoramento.

Ao prof. Marx Leandro Naves Silva pela amizade, confiança, orientação e oportunidade de trabalho. Ao prof. Nilton Curi pelas críticas e sugestões apresentadas à dissertação, ensinamentos, disponibilidade e amizade. Ao prof. Mozart por sua participação na banca e contribuições. Ao prof. João José pela disponibilidade e apoio. Ao prof. Vicente Gualberto pelos ensinamentos ao longo destes anos, apoio e amizade. A todos os professores do DCS/UFLA e aos professores e monitores do DEX/UFLA, pelo suporte durante todo o curso de mestrado e condução deste trabalho.

Ao Dr. Fernando Palha Leite pela oportunidade de trabalho, participação na banca e contribuições; a Gilson Gaudereto pela amizade e apoio na condução do experimento, e demais funcionários da CENIBRA/S.A. que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho.

Aos amigos, Claret, Silvana, Daniele e Máira pelos momentos inesquecíveis e apoio incondicional. A Alexandre, Serginho e Antônio Marcos pela oportunidade de trabalho em conjunto, contribuições, e em especial pela amizade e bons momentos compartilhados. A cada um dos contemporâneos do curso de pós-graduação e alunos de iniciação científica (DCS/UFLA), pela amizade, companheirismo, apoio, contribuições e agradável convivência.

A cada um dos funcionários do DCS/UFLA, em especial a Delane, Dulce, Maria Alice, "Pezão", Wal, Adriana, Roberto, Carlinhos, João, Vera, Leninha, Ritinha, pelo auxílio e bons momentos vivenciados.

A todos, amigos e familiares, que de alguma maneira contribuíram com a realização deste trabalho e tornaram estes anos mais prazerosos. Tenham certeza de que vou trazê-los sempre na minha memória.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Manejo do solo em sistemas florestais.....	3
2.2 Efeitos da queima de resíduos vegetais sobre o solo	5
2.3 O uso de indicadores de qualidade de solo na avaliação de sistemas de manejo	6
2.3.1. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo.....	7
2.3.2. Matéria orgânica e sua relação com atributos físicos do solo	13
2.4 Perdas de solo e água por erosão hídrica	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Localização, caracterização da área e tratamentos	20
3.2 Amostragem	22
3.2 Determinações de atributos do solo	22
3.2.1 Amostras com estrutura deformada	22
3.2.2 Amostras com estrutura indeformada	24
3.2.3 Teste de resistência à penetração.....	24
3.2.4 Estabilidade de agregados	24
3.3 Avaliação das perdas de solo e água.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Atributos físicos indicadores da qualidade do solo	29
4.1.1 Densidade do solo, porosidade total e distribuição de poros por tamanho	29
4.1.2 Resistência do solo à penetração	33
4.1.3 Atributos de agregação	37
4.2 Perdas de solo e água por erosão hídrica	44
4.3 Relação entre atributos físicos do solo e erosão hídrica	48
5 CONCLUSÕES.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	64

RESUMO

BRITO, Liziane de Figueiredo. Erosão hídrica de Latossolo Vermelho Distrófico típico em área de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhães (MG). 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

A estimativa de perdas de solo é importante para avaliar o impacto ambiental em função do manejo e permite definir práticas mais adequadas para condições específicas. Assim, em função da escassez de informação sobre o processo erosivo em áreas de plantios florestais comerciais, especialmente em condição de relevo movimentado, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo, em área de pós-plantio de eucalipto, sobre as perdas de solo e água por erosão e também sobre alguns atributos físicos do solo. O experimento foi instalado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob três sistemas de manejo de eucalipto (eucalipto plantado no sentido do declive com queima de restos culturais – EDq; eucalipto plantado no sentido do declive sem queima de restos culturais – ED; eucalipto plantado em nível sem queima de restos culturais - EN), floresta nativa (FN), solo descoberto (SD) e pastagem nativa (PN). Foram avaliados os seguintes atributos: densidade do solo (Ds), porosidade total (VTP), macroporosidade (MACRO), microporosidade (MICRO), resistência à penetração (RP) e estabilidade de agregados em água. Os atributos Ds, VTP, MACRO, MICRO e RP mostraram-se sensíveis a alterações da condição natural em função do uso florestal. Os resultados de perda de solo evidenciam a sustentabilidade ambiental e adequação do sistema de manejo, no contexto de erosão hídrica, dos plantios florestais de eucalipto, nas condições em que o estudo foi realizado.

* Comitê Orientador: Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Orientador), Nilton Curi – UFLA.

ABSTRACT

BRITO, Liziane de Figueiredo. Hydric erosion of Latosol (Oxisol) in post-plant of eucalyptus area at Guanhães (MG). 2004. 78 p. Dissertation (Master Program in Soils and Nutrition of Plants) – Federal University of Lavras, Lavras, MG*.

The soil losses estimation is important for evaluating environmental impact due to management and it allows defining adequate practices for specific ecosystems. So, considering the importance of knowing how hydric erosion occurs in eucalyptus commercial forests, specially in mountainous areas, this study has as objectives to evaluate the influence of various soil management systems, in post-plant areas of eucalyptus, on soil and water losses and also on some soil physics attributes. The experimental plots were installed on a typic dystrophic Red Latosol (Oxisol), under three managements systems (downhill planted eucalyptus with burn of crop residues – EDq; downhill planted eucalyptus with maintenance of crop residues on soil surface – ED; level planted eucalyptus with maintenance of crop residues on soil surface - EC), native forest (FN), native pasture (PN), and bare soil (SD). Bulk density (BD), total porosity (TP), macroporosity (MACRO), microporosity (MICRO), penetration resistance (PR), and aggregate stability were determined. Among these attributes, the BD, TP, MACRO, MICRO and PR efficiently detected alterations in soil due to management. The soil loss results indicate environmental sustainability and adequation of management systems regarding to hydric erosion.

Guidance Committee: Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Major Professor),
Nilton Curi – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, apesar da expansão do setor florestal em larga escala, poucos são os estudos a respeito das modificações que este uso pode causar no solo, especialmente do ponto de vista de conservação. Considerando que a erosão hídrica constitui uma importante causa de redução da produtividade das florestas e degradação ambiental, e que o processo erosivo pode ser agravado pela não implementação de práticas de conservação do solo, o manejo sustentado torna-se uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico.

Os maiores impactos sobre o solo decorrentes de operações de manejo adotadas em plantios florestais comerciais são, em sua maioria, atribuídos às operações de preparo do solo e à colheita mecanizada da madeira. Em áreas de relevo movimentado, estes problemas se intensificam, uma vez que o manejo é dificultado.

As práticas de preparo devem ser conduzidas visando preservar ou melhorar as condições estruturais do solo. Assim, para cada situação específica devem ser definidas devidamente as práticas a serem adotadas e o número de intervenções mecânicas necessárias.

Os métodos de preparo do solo utilizados em áreas florestais no Brasil variam muito, mas podem ser agrupados em duas grandes tendências: o amplo revolvimento das camadas superficiais do solo (preparo convencional com aração e gradagem) e o cultivo mínimo (preparo de solo restrito às linhas ou covas de plantio, mantendo os resíduos culturais sobre o terreno). O preparo do solo pode também incluir a queima de resíduos vegetais, como uma prática de limpeza da área. No entanto, os efeitos negativos desta prática sobre atributos do solo e o ambiente têm desestimulado a adoção da mesma.

Um outro aspecto que deve ser considerado é o arranjo das plantas em campo. Em áreas florestais é comum o plantio no sentido do declive do terreno,

visando facilitar a realização de outras práticas de manejo, apesar do plantio em nível ser mais apropriado do ponto de vista de conservação do solo.

Deste modo, estudos avaliando o efeito das práticas de manejo sobre o processo erosivo são relevantes no monitoramento e previsão da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo aos quais esse recurso está submetido. Notadamente para os sistemas florestais no Brasil, verifica-se a necessidade de ampliação do banco de dados existente, contribuindo para o uso racional do solo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos: avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo, em área de pós-plantio de eucalipto, sobre os atributos físicos do solo e as perdas de solo e água por erosão; selecionar atributos que melhor expressem as alterações do solo; e verificar a relação entre atributos físicos do solo e processo erosivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo do solo em sistemas florestais

O manejo do solo compreende um conjunto de operações que pode afetar tanto os atributos físicos, químicos e biológicos do solo bem como a produtividade das florestas. Deste modo, a escolha de tecnologias adequadas a serem utilizadas é muito importante visando ao manejo sustentado.

Em sistemas florestais, o preparo intensivo do solo e a colheita mecanizada são apontados como as principais causas de degradação do solo (Gonçalves & Stape, 2002), dependendo das condições em que são realizados em campo. Em adição, destaca-se também o impacto das operações de construção e manutenção de estradas sobre o solo.

Sob o ponto de vista da conservação do solo, o tipo de preparo do solo ideal é aquele no qual é necessário um menor número de operações, e que deixe a maior quantidade de resíduos vegetais sobre a superfície, refletindo em maior proteção contra o impacto da gota da chuva e menores alterações na estrutura do solo. No setor florestal, o conceito de preparo do solo vem evoluindo, de modo que, em muitas áreas, novos métodos de plantio e de reforma vêm sendo adotados, substituindo os sistemas de preparo intensivo (Gonçalves et al., 2002).

Nesse contexto, o cultivo mínimo tem-se destacado por garantir uma melhor conservação do solo e de suas propriedades (Gonçalves et al., 2002). Em áreas florestais, esse sistema admite apenas um preparo localizado na linha de plantio ou na cova de plantio (Gonçalves, 2002; Gonçalves et al., 2002), o qual deve ser realizado no sentido perpendicular à declividade do terreno. Em situações em que o declive acentuado ou o alinhamento do povoamento anterior (em caso de reforma) dificultam ou impedem a subsolagem, o preparo é realizado com coveador mecânico ou manualmente (Silva, C.R. et al., 2002). Segundo Gava (2002), o cultivo mínimo na silvicultura tem suas peculiaridades,

principalmente em função do ciclo longo, que se constitui numa vantagem, já que implica em menor movimento de máquinas sobre o solo. Entretanto, o uso do cultivo mínimo pode, em algumas situações, ser insuficiente para o desenvolvimento adequado das plantas, sendo necessário, portanto, adequar a técnica utilizada para cada situação (Gava, 2002).

Do ponto de vista de manejo de resíduos vegetais, o cultivo mínimo favorece a proteção ao solo contra o impacto da gota da chuva. No entanto, surge a necessidade de ampliação dos estudos sobre este sistema, visto que os resíduos pós-colheita deixados em superfície podem causar alguns entraves operacionais, dificultando a realização de outras práticas de manejo (Stape et al., 2002; Gonçalves et al., 2002). Apesar dessas dificuldades, a conscientização e abandono da queima como método de limpeza do terreno constituem um grande avanço da silvicultura brasileira nos últimos anos.

O espaçamento e arranjo de plantio utilizados em área florestal estão diretamente relacionados à proteção do solo contra erosão, facilidade de realização das operações de cultivo e competição entre plantas por fatores de crescimento (luz, água e nutrientes) (Gonçalves, 2002). O plantio em contorno constitui uma prática fundamental em áreas preparadas com intenso revolvimento do solo, visando, principalmente, ao controle da erosão. Entretanto, o plantio em desnível vem sendo realizado em áreas florestais de alto nível tecnológico conduzidas no sistema de cultivo mínimo, onde o preparo do solo restringiu à abertura de covas ou subsolagem. Nestes casos, o preparo mínimo do solo, a grande quantidade de resíduos vegetais deixados em superfície, o sistema radicular das árvores do ciclo anterior e o rápido recobrimento do solo com as copas (em função do alto nível tecnológico) são apontados como os principais responsáveis pela eficiente proteção e prevenção do solo contra perdas de solo por erosão (Gonçalves, 2002). Os espaçamentos de plantio adotados recentemente em áreas florestais de alto nível tecnológico

variam em torno de 9 a 10 m² por planta, sendo preferidos os espaçamentos mais regulares (quadrado) (Gonçalves, 2002), o que proporciona uma cobertura do solo mais homogênea e eficiente.

Com relação à colheita mecanizada, seus principais efeitos negativos no setor florestal estão relacionados com aumento da taxa de erosão e perdas em produtividade. A degradação física do solo ocorre em função de alterações na sua estrutura, contribuindo para a formação de camadas compactadas (Seixas, 2002). Dependendo da condição de umidade e dos níveis de pressões aplicadas ao solo em razão do tráfego das máquinas de corte, limpeza das árvores e escoamento da produção é possível que ocorra compactação do solo (Dias Júnior, 2000). A compactação, além de restringir o desenvolvimento radicular, geralmente reduz a taxa de infiltração, podendo acarretar em aumento do escoamento superficial e do risco de erosão (Seixas, 2002).

Assim, o manejo adequado do solo em áreas de plantações florestais torna-se fundamental.

2.2 Efeitos da queima de resíduos vegetais sobre o solo

Em áreas agrícolas, florestais e de pastagens, a prática da queima como forma de manejo é muito antiga. Dentre as justificativas para o uso do fogo, destaca-se a renovação e limpeza de pastagens, redução da infestação de pragas e plantas invasoras, limpeza total da área em caso de derrubada de floresta para o preparo do solo e cultivo, e eliminação de restos culturais em áreas florestais, visto que dificultam a realização das operações de manejo (Santos et al., 1992). No entanto, vários são os efeitos dessa prática sobre o solo, tanto de caráter químico, físico como biológico.

A elevação da temperatura ocorre em maior intensidade na camada superficial, especialmente nos primeiros 2,5cm. O aquecimento e a conseqüente perda de água acarretam uma drástica redução da população microbiana (Cerri et

al., 1985; Silva & Vidor, 1984), que está diretamente relacionada com a agregação do solo. Segundo Garcia-Oliva et al. (1999), o fogo não destrói macroagregados, mas seu carbono associado é perdido, o que termina por reduzir a estabilidade do mesmo, pela redução de energia para atividade microbiana e decréscimo de hifas e raízes finas. Ainda em função da redução do teor de matéria orgânica, a queima pode acarretar também aumento da densidade do solo na camada superficial; no entanto, em latossolo argiloso Hernani et al. (1987) não verificaram diferença estatística entre a densidade do solo das áreas queimada e não queimada.

Entretanto, uma das principais conseqüências das queimadas está relacionada com o aumento das perdas de solo e água por erosão. A redução ou eliminação da cobertura vegetal favorece o escoamento superficial da água da chuva, agravando o processo erosivo (Santos et al., 1992).

2.3 O uso de indicadores de qualidade de solo na avaliação de sistemas de manejo

Estudos que evidenciam a relação entre comportamento de atributos do solo frente aos sistemas de manejo adotados têm permitido detectar indicadores para avaliação da sua qualidade. Segundo Islam & Weil (2000), os atributos do solo selecionados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo de modo que as alterações sejam detectadas em tempo adequado, ou seja, é desejável que estejam numa posição intermediária entre aqueles considerados como permanentes (mineralogia e textura, como exemplo) e efêmeros (temperatura, pH e conteúdo de água, como exemplo).

Dentre esses indicadores, a estabilidade de agregados, a condutividade hidráulica do solo, a resistência do solo à penetração, a porosidade e a densidade do solo têm sido utilizados por diversos autores (Alvarenga & Davide, 1999; Silva et al., 1999; Beutler et al., 2001a,b; D'Andréa, 2001; Martins et al., 2002;

Neves, 2002) por refletirem modificações físicas do solo decorrentes do manejo, como condições de compactação, encrostamento. Além desses atributos físicos, o carbono orgânico e o estoque de carbono, indicadores químicos, também têm sido utilizados (D'Andréa, 2001; Neves, 2002), e estão relacionadas diretamente com atributos de agregação.

A deterioração de atributos do solo pode ocorrer em diferentes proporções, dependendo do tipo de manejo adotado, e sua avaliação possibilita obter dados para o monitoramento da qualidade do mesmo, permitindo ainda indicar sistemas de uso do solo que sejam considerados mais sustentáveis.

2.3.1. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo

A densidade do solo afeta diretamente o desenvolvimento radicular, devido ao impedimento físico. Segundo Borges et al. (1986), a redução dos teores de nutrientes na parte aérea de plantas de *Eucalyptus sp.*, em solos de textura muito argilosa com densidades superiores a $1,15\text{kg dm}^{-3}$, pode ocorrer em consequência da redução do volume de solo explorado pelas raízes. Alvarenga et al. (1996) verificaram que a restrição ao crescimento radicular de leguminosas e infiltração de água ocorre em valores de densidade acima de $1,25 - 1,35\text{kg dm}^{-3}$, em latossolo de textura muito argilosa.

Comparando valores de densidade do solo em diferentes povoamentos florestais, Martins et al. (2002) observaram um menor valor para a área sob mata nativa ($1,03\text{kg dm}^{-3}$), em comparação com as demais áreas ($1,25$ a $1,28\text{kg dm}^{-3}$), onde havia sido realizado preparo do solo para implantação dos povoamentos, além de preparos anteriores, quando utilizadas para cultivo agrícolas. Seixas et al. (1998) verificaram aumento na densidade do solo sob floresta após a realização de colheita mecanizada, independente do sistema de manejo de resíduos utilizado, em solo de textura arenosa. Diversos autores relatam alteração da densidade do solo em função do manejo, tendo como referencial a

condição natural (Corrêa, 1985; Carvalho Júnior et al., 1998; Cavenage et al., 1999; Beutler et al., 2001a; Martins et al. 2002; Rosa et al., 2003; Costa et al., 2003). Segundo Beltrame et al. (1981), a densidade do solo afeta a resistência do solo à penetração e a condutividade hidráulica do solo. A relação entre densidade do solo e resistência à penetração também foi observada por Smith et al. (1997).

Em solos tropicais, menores valores de densidade do solo estão relacionados à formação de estrutura granular, em consequência, principalmente, de elevados teores de óxidos de alumínio. Assim, quanto maior o teor de caulinita (Ct) em relação à gibsita (Gb), ou seja, menor relação $Gb/(Gb+Ct)$, maior a densidade do solo (Ferreira et al., 1999a,b; Giarola et al., 2002; Pedrotti et al., 2003). Além dos óxidos de alumínio, os óxidos de ferro (Igwe et al. (1999) e Muggler et al. (1999) citados por Giarola et al., 2002) e a matéria orgânica (Silva et al., 1997; Bayer & Mielniczuk, 1999; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001b), e associações entre esses constituintes, exercem efeito sobre a agregação do solo, podendo influenciar na formação da sua estrutura.

A qualidade estrutural do solo em função do manejo também pode ser avaliada através da porosidade do solo. Vários autores comprovam alteração de porosidade em função de alterações do ambiente natural, tanto no setor agrícola (Corrêa, 1985; Da Ros et al., 1997; Carvalho Júnior et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001a; Klein & Libardi, 2002; Rosa et al., 2003) e como no florestal (Alvarenga & Davide, 1999). Modificações na porosidade total traduzem em alteração na densidade do solo e distribuição de poros por tamanho, produzindo efeitos sobre o comportamento físico-hídrico do mesmo. Em latossolo, Martins et al. (2002) encontraram valores para macroporos que estão abaixo das condições ideais ($0,09$ a $0,12\text{m}^3\text{m}^{-3}$) descritas por Baver et al. (1972), tanto em floresta natural como em outros povoamentos florestais. Cavenage et al. (1999) encontraram valores condizentes com tal índice em

diversos sistemas ($0,12\text{m}^3\text{m}^{-3}$ para cerrado; $0,14\text{m}^3\text{m}^{-3}$ para mata ciliar; $0,14\text{m}^3\text{m}^{-3}$ para *Pinus* sp.; $0,09\text{m}^3\text{m}^{-3}$ para *Eucalyptus* sp.; $0,08\text{m}^3\text{m}^{-3}$ para pastagem). No setor florestal, a redução de macroporos após a realização da colheita mecanizada da madeira em relação à condição anterior é relatada por Seixas & Oliveira Júnior (2001), ocorrendo em maior ou menor grau em função do tipo de solo, umidade atual, equipamento utilizado e grau de declive do terreno.

A partir de resultados de resistência do solo à penetração pode-se inferir sobre a dificuldade de desenvolvimento do sistema radicular, em consequência da presença de camadas de solo compactadas. Smith et al. (1997) verificaram em seus estudos que a resistência à penetração está associada, principalmente, com densidade do solo, conteúdo de água, quantidade de argila e carbono orgânico. Seixas & Oliveira Júnior (2001) também relatam o efeito da umidade e quantidade de argila sobre os resultados de resistência à penetração.

Em área de povoamentos florestais, Martins et al. (2002) verificaram que os valores de resistência à penetração aumentam em profundidade, variando entre 1,3 a 4,3MPa para a profundidade de 0 a 15cm e entre 1,6 a 6,7MPa na profundidade de 20 a 40cm, sendo que a condição natural apresentou os menores valores de resistência à penetração para a profundidade avaliada. Considerando o impacto da colheita mecanizada em área florestal sobre os resultados do teste de resistência do solo à penetração, Seixas et al. (1998) e Seixas & Oliveira Júnior (2001) observaram que após o tráfego de máquinas os valores de resistência à penetração aumentaram. Na profundidade de 10 a 30cm, os valores encontrados por Seixas et al. (1998) são superiores a 3,0MPa, considerado como crítico ao desenvolvimento radicular (Greacen & Sands, 1980, citado por Seixas & Oliveira Júnior, 2001).

Segundo Arshad et al. (1996), valores acima de 2MPa para resistência do solo à penetração restringem o desenvolvimento radicular de culturas agrícolas. Considerando este valor como limitante, Silva et al. (2000), em

Latossolo Roxo, verificaram que na profundidade de 5 a 20cm os valores obtidos para os sistemas plantio direto e cultivo convencional podem ser considerados críticos. Na profundidade de 0-5cm, estes mesmos autores obtiveram valores mais baixos de resistência à penetração para o sistema de plantio direto em relação ao cultivo convencional, o que é justificado pelo teor elevado de matéria orgânica e presença de material vegetal em decomposição em superfície. Beutler et al. (2001b) encontraram resultados contrastantes em Latossolo Vermelho Distrófico típico.

A estabilidade de agregados, determinada através de índices que classificam os agregados quanto ao tamanho e estabilidade ou que indicam a concentração dos agregados em determinada classe de tamanho, possibilita avaliar quantitativamente a estrutura do solo. Deste modo, métodos que avaliem a estabilidade de agregados são importantes em estudos de qualidade do solo, sendo utilizados como indicadores da sustentabilidade de sistemas de uso e manejo do solo (Vieira & Muzilli, 1984; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Silva & Mielniczuk, 1997; Castro Filho et al., 1998; Silva et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Silva et al., 2000; D'Andréa et al., 2002a; Martins et al., 2002).

A determinação da distribuição de agregados por tamanho, através do peneiramento em água, tem como objetivo tentar simular os efeitos da erosão hídrica sobre o solo; no entanto, sabe-se que as forças utilizadas em laboratório não reproduzem, na sua totalidade, o que ocorre em campo. A determinação, portanto, é considerada empírica, o que justifica utilizar a estabilidade de agregados, e não a distribuição de agregados por tamanho, como indicador da estrutura do solo (Kemper & Chepil, 1965; Kemper, 1965; Kemper & Rosenau, 1986). Esta determinação via úmida pode ser realizada de duas maneiras, com e sem o pré-umedecimento da amostra. No entanto, existe ainda muita variação em relação às diversas maneiras de se umedecer a amostra, o que reflete em alterações nos resultados (Grohmann, 1960a). Trabalhos avaliando o efeito do

pré-tratamento das amostras indicam que o pré-umedecimento das amostras fornece agregados mais estáveis (Grohmann, 1960a; Rando, 1981; Oliveira, 1983; Beutler, 1999). Isto acontece pelo fato de que quando os agregados secos não são previamente umedecidos, a rápida absorção de água pode causar expansão desigual dentro do agregado, produzindo fraturas, e conseqüente rompimento dos agregados. Também a pressão de água nos capilares promove compressão do ar dentro dos agregados, o que pode provocar rupturas em seu interior (Kemper & Chepil, 1965; Kemper, 1965; Kemper & Rosenau, 1986; Baver et al., 1972), proporcionando menores valores para os índices de estabilidade de agregados. Kemper (1965) relaciona o processo de determinação da estabilidade com agregados secos com a formação de crosta na superfície do solo.

A estabilidade de agregados é expressa através de índices, dentre os quais destacam-se o diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maior que 2mm, dentre outros. Uma maior estabilidade de agregados, estimada através do diâmetro médio geométrico, foi observada em áreas de mata nativa (Silva et al., 1998; Beutler et al., 2001b; Martins et al., 2002), comparada com outros sistemas, visto que o preparo do solo tende a romper a estrutura do solo, destruindo os agregados. Beutler et al. (2001b) encontraram maiores valores para porcentagem de agregados maiores que 2mm sob sistema de semeadura direta, em relação aos demais sistemas de cultivo estudados. Segundo D'Andréa et al. (2002a) e Silva et al. (2000), os sistemas conservacionistas de manejo, como o plantio direto, ao contrário dos preparos com revolvimento do solo, mantiveram as melhores condições de agregação, estimadas pelo diâmetro médio geométrico e porcentagem de agregados maior que 2mm. Estes resultados de agregação evidenciam a contribuição da matéria orgânica do solo com a estabilidade de agregados, que se apresenta em maior concentração nos sistemas naturais (Silva et al., 1998; Silva et al. 2000; Beutler et al., 2001b) e

conservacionistas (Silva et al., 2000; D'Andréa et al., 2002a). Em condição natural, além da não intervenção antrópica, os teores de matéria orgânica podem ser mais elevados em função do grande aporte de resíduos e conservação no ecossistema, e de modo semelhante, os sistemas que preservam a estrutura do solo estão também preservando a matéria orgânica do sistema, evitando sua degradação acelerada. Por outro lado, ao avaliar a estabilidade de agregados em floresta de eucalipto e mata nativa, Fonseca (1984) observou que existem evidências de aumento na estabilidade de agregados com a mudança de mata natural para eucalipto. Segundo esse autor, apesar da maior quantidade de matéria orgânica sob mata natural, possivelmente a maior atividade da microbiota sob eucalipto, associada ao uso do fogo na implantação dos reflorestamentos, sejam as possíveis causas. Fonseca (1984) relata também a maior eficiência do sistema radicular de gramíneas, quando comparado com eucalipto, em favorecer a agregação do solo pelos melhores valores obtidos para os índices de estabilidade de agregados avaliados neste sistema.

Os estudos apresentados anteriormente evidenciam a importância dos atributos físicos comentados, pela sua suscetibilidade a mudanças em função de interferência antrópica, para os estudos de qualidade do solo. Recentemente, diversos autores têm proposto o uso de um conjunto de atributos do solo que possam inferir sobre a qualidade do mesmo. Avaliando atributos físicos em diferentes povoamentos de eucalipto, Martins et al. (2002) observaram que a permeabilidade do solo à água e a resistência do solo à penetração apresentaram boa performance como indicadores da qualidade da estrutura do solo, assim como Neves (2002) em sistemas agrossilvopastoril. A partir de estudo em diversos sistemas de manejo no sul de Goiás, sob Latossolo Vermelho Distrófico típico no cerrado, D'Andréa (2002a) sugeriu o diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2mm, bem como o atributo químico,

carbono orgânico total, como componentes potenciais para um índice de qualidade de solo para a região.

2.3.2. Matéria orgânica e sua relação com atributos físicos do solo

A importância da matéria orgânica para o ecossistema está relacionada às funções que desempenha, tanto de natureza física, química como biológica, o que sustenta sua condição de atributo relevante em estudos de qualidade do solo. Neste estudo será abordado apenas o papel da matéria orgânica como condicionador físico do solo. O carbono orgânico (Alvarenga & Davide, 1999; D'Andréa, 2001; Neves, 2002; Silva, 2001) e o estoque de carbono (D'Andréa, 2001; Neves, 2002; Silva, 2001) são parâmetros relacionados ao conteúdo de matéria orgânica do solo que vem sendo utilizados em estudos de avaliação da qualidade do solo em sistemas de manejo.

Dentre as funções de natureza física da matéria orgânica do solo destaca-se sua influência direta na capacidade de retenção de água no solo e melhoria do estado de agregação (Stevenson, 1994; Bayer & Mielniczuk, 1999). Diversos estudos envolvendo sistemas de manejo verificaram correlação entre teor de carbono orgânico no solo e agregação (Castro Filho et al., 1998; Alvarenga & Davide, 1999; D'Andréa, 2001).

Em estudo sob Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, Alvarenga & Davide (1999) observaram que as áreas com reflorestamento adulto de eucalipto e com um ano de reflorestamento apresentaram menor teor de carbono orgânico em relação ao cerrado nativo. Este mesmo autor verificou correlação entre carbono orgânico do solo e os seguintes atributos físicos: densidade do solo, porosidade total e porcentagem de agregados maiores que 2mm, destacando o papel da matéria orgânica na agregação. As alterações dos atributos avaliados em todos os sistemas de manejo foram mais evidentes na camada superficial do solo.

Diversos autores verificaram alterações no conteúdo de carbono orgânico (Marchiori Júnior & Melo, 2000) e estoque de carbono no solo (Corazza et al., 1999) em sistemas de manejo tendo como referência a condição natural. Comparações entre sistemas que promovem um maior ou menor revolvimento do solo também são realizadas, nas quais verifica-se uma tendência dos primeiros em apresentar menores teores de carbono orgânico no solo (Castro Filho et al., 1998; Corazza et al., 1999; D'Andréa, 2001) e menor estoque de carbono (Silva, 2001). Castro Filho et al. (1998) observaram que o acúmulo de resíduo vegetal sobre o solo em sistema de plantio direto proporcionou aumento no teor de carbono orgânico na superfície (profundidade de 0 a 10cm) em relação ao plantio convencional, ambos sobre Latossolo Roxo. Em adição, esse acréscimo resultou em aumento do IEA (índice de estabilidade de agregados) pela diminuição de agregados da classe com diâmetro menor que 0,25mm e aumento das classes de maior diâmetro.

Conforme abordado anteriormente, a matéria orgânica do solo atua nas propriedades físicas do solo promovendo a estruturação, contribuindo para a estabilidade de agregados, reduzindo a densidade do solo, e deste modo, conseqüentemente, favorece a infiltração de água no solo e o desenvolvimento de raízes, além de fornecer nutrientes às plantas, atenuar os efeitos do tráfego de máquinas em áreas florestais e proteger o solo contra o impacto da gota da chuva. Deste modo, o manejo adequado dos resíduos orgânicos é indicado como alternativa de manejo viável, contribuindo para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo. Em adição, a partir do momento em que são vistos os benefícios do manejo adequado de resíduos, a prática da queimada, que permite uma maior exposição do solo ao processo erosivo e ao escoamento superficial, favorecendo a perda de solo e nutrientes contidos nas cinzas, será evitada.

2.4 Perdas de solo e água por erosão hídrica

O monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica é indispensável para o manejo adequado e sustentável em sistemas agrícola, pastagem e florestal, visto que a erosão hídrica é um dos fatores que mais contribuem para a queda da produtividade dos sistemas, em consequência da degradação do solo.

Considerando a média de um período de estudos de cinco anos, Silva et al. (2003) obtiveram perdas acumuladas de solo de 205,65 Mg ha⁻¹ e 14,90 Mg ha⁻¹ respectivamente para cambissolo e latossolo, em área onde no início do experimento foram realizadas uma aração com arados de disco e duas gradagens leve, no sentido do declive. Em ambos os casos, os valores encontram-se acima do limite de tolerância para os dois solos, 5,60Mg ha⁻¹ e 12,70Mg ha⁻¹, respectivamente. Segundo o autor, a estrutura granular e maior permeabilidade do latossolo ajudam a explicar seus menores valores em comparação com o cambissolo.

Em sistemas agrícolas, diversos estudos vêm sendo realizados visando à determinação da perda de solo e água por erosão, sendo que a maioria dos trabalhos apresenta comparações entre sistemas de manejo ou utilizam a condição natural do ecossistema como referencial. Segundo Mahmoudzadeh et al. (2002), o manejo é fator dominante na determinação de taxas de perda de solo e produção de sedimentos. Em áreas sob cultivo as perdas de solo relatadas são, em média, 3,1Mg ha⁻¹ano⁻¹, enquanto sob pastagem e floresta nativa, as perdas são bem inferiores, 2,2 e 0,8Mg ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente.

Távora et al. (1985) verificaram que as maiores perdas de solo e água ocorrem, principalmente, na fase do seu preparo mecanizado a favor do declive, quando a aração e as gradagens eliminam sua proteção vegetativa, o que refletiu na baixa resistência à erosão do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico estudado, para esta fase.

Cogo et al. (2003) avaliaram o efeito do sistema de preparo do solo, classes de declive e níveis de fertilidade sobre as perdas de solo e água por erosão hídrica em Latossolo Vermelho Distroférico típico textura muito argilosa. A melhoria da fertilidade teve efeito positivo, reduzindo as perdas de solo e água, em função do aumento da produção da matéria seca. O sistema de preparo do solo convencional apresentou os maiores valores de perda de solo e água, em comparação com preparo reduzido e semeadura direta, além de ter sido o sistema mais afetado pelo aumento da declividade do terreno. No entanto, perdas significativas de solo por erosão hídrica ocorreram somente na testemunha, onde foi realizado preparo convencional no sentido do declive e sem implantação de cobertura vegetal. Resultados semelhantes são relatados por Hernani et al. (1999) e Beutler et al. (2003), em latossolos, considerando uma redução das perdas de solo e água na medida em que a intensidade de preparo do solo é reduzida e o aumento de cobertura vegetal é favorecido. Em Hernani et al. (1999) verifica-se uma maior eficiência do sistema de plantio direto no controle da erosão, com redução de 91,2% e 86,5% nas perdas de solo e água, respectivamente, em relação ao solo descoberto. Beutler et al. (2003) relatam menores perdas por erosão na condição de semeadura direta.

Em área de Latossolo Roxo, Hernani et al. (1997) quantificaram as perdas de solo em vários sistemas de preparo aplicados na sucessão soja/trigo, e observaram que as perdas de solo acumuladas tendem a estabilizar no sistema de plantio direto, enquanto nos outros sistemas os valores são crescentes. O sistema plantio direto controlou 89% das perdas de solo e 82% das perdas de água em relação ao tratamento em que o solo ficou sem cobertura vegetal.

Segundo Garcia & Silva (2003), a evolução temporal da erosão em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura franco-arenosa varia de acordo com o manejo. As parcelas mantidas sem cobertura vegetal, com ou sem aplicação de calcário, apresentaram os maiores valores de perda de solo, especialmente no

primeiro ano (36,2 a 34,3Mg ha⁻¹), e uma tendência à redução da erosão ao longo dos três anos avaliados, o que pode ser explicado pela ocorrência de uma crosta superficial que parece reduzir o destacamento de partículas do solo, reduzindo a erosão. Em adição, no primeiro ano de monitoramento havia muito material para ser transportado. Comportamento diferente foi observado tanto na parcela mantida sem cobertura vegetal que recebeu aplicação de adubo orgânico como na que foi mantida sob cobertura com gramíneas. As parcelas mantidas com gramíneas (4,66 e 1,46Mg ha⁻¹) apresentaram valores de perda de solo bem inferiores àqueles obtidos nas parcelas sob solo descoberto (36,20 e 6,46 Mg ha⁻¹), em todo o período de estudo.

De Maria & Lombardi Neto (1997), em Latossolo Roxo distrófico textura argilosa, relatam que dentre os sistemas de manejo avaliados as perdas de solo variaram entre 2,1 e 12,6Mg ha⁻¹ no ano de estudo, sendo que as maiores perdas de solo foram observadas no sistema de plantio contínuo de milho com queima de restos culturais, visto que o solo fica mais exposto à ação da chuva. No entanto, as perdas observadas na parcela descoberta (127,7Mg ha⁻¹) são ainda dez vezes maiores do que neste sistema que utiliza queima. Bertoni et al. (1982), citados por Gonçalves 2002, também encontraram as maiores perdas de solo nos sistemas onde os resíduos vegetais foram queimados, seguido da situação onde os resíduos foram incorporados ao solo, e as menores perdas foram obtidas quando os resíduos foram deixados sobre a superfície do solo.

Em áreas de Cambissolo, as práticas de manejo propostas para melhoria das pastagens nativas aumentaram o índice de cobertura do solo e reduziram as perdas de solo por erosão (Santos et al., 1998). As maiores perdas ocorreram na parcela mantida com solo descoberto (151,2Mg ha⁻¹ ano⁻¹), e a simples manutenção da vegetação de campo nativo (22,4Mg ha⁻¹ ano⁻¹) reduziu as perdas em 85%, o que demonstra o potencial de perda de solo entre a queimada e a rebrota do pasto. O efeito das gramíneas no controle da erosão hídrica também é

observado em Dechen et al. (1981). Segundo estes autores, as gramíneas proporcionaram um melhor controle da erosão em relação às leguminosas, dentre as quais destaca a grama batatais, com perda média de $0,1\text{Mg ha}^{-1}$ em seis anos de estudo consecutivos.

Franco et al. (2002) encontraram valores de perda totais de solo em sistemas agroflorestais significativamente inferiores aos obtidos em sistema convencional de preparo do solo, o que evidencia o potencial deste tipo de sistema de manejo como estratégia para conservação do solo em microbacias. A perda de solo média para os sistemas agroflorestais foi de $0,217\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, comparado com $2,612\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ para os sistemas sob cultivo convencional.

Avaliações de perdas de solo e água por erosão hídrica também são importantes em áreas de manejo florestal, já que o emprego de equipamentos de grande porte na realização das operações de preparo do solo e colheita, além da construção e manutenção de estradas, pode favorecer a ação do processo erosivo.

Em microbacias reflorestadas com eucalipto, sob Podzólico Vermelho-Amarelo, Ranzini & Lima (2002) verificaram que as perdas de solo variaram entre $0,03$ e $0,08\text{Mg ha}^{-1}$, sendo consideradas baixas quando comparadas com as perdas de solo de uma mata nativa. Segundo o autor, estes valores apresentam-se abaixo do limite de tolerância estabelecido para unidades de solo semelhante à área experimental.

Vital et al. (1999) observaram que apesar dos valores de perdas de solo terem praticamente dobrado no primeiro ano após corte raso de eucalipto em uma microbacia, também sob Podzólico Vermelho-Amarelo, os valores de $0,04\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ são ainda significativamente menores do que aqueles decorrentes do uso mais intensivo do solo, como na agricultura, por exemplo.

Martins (2001) e Martins et al. (2003), comparando três classes de solo sob cultivo de eucalipto observaram que as perdas de solo variaram entre $0,21$ e

3,20Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo superiores às obtidas para mata nativa e inferiores quando comparadas ao solo descoberto. Conforme observado, esses valores estão abaixo do limite de tolerância de perda de solo estimado para a região, que variou entre 10 e 13Mg ha⁻¹ para os solos estudados, o que indica um caráter de sustentabilidade no manejo adotado. Considerando as classes de solo estudadas, as perdas de solo e água apresentaram a mesma tendência. Apesar da questão do efeito ambiental do eucalipto ser bastante questionada, nas condições de plantio e de solo estudadas, Martins et al. (2003) observaram que os valores de perda de solo são consideravelmente menores quando comparados aos obtidos por diversos autores em outras culturas agrícolas sob cultivo convencional.

Lima (1996), em área de Areia Quartzosa cultivada com *Eucalyptus grandis*, observou uma redução dos valores de perda de solo do primeiro ano para o quarto ano. Os valores obtidos no início variavam entre 1,0 a 6,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, decrescendo para 0,01 a 0,14Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no quarto ano, enquanto que na parcela sem cobertura vegetal, as perdas de solo variaram entre 3,2 e 11,32 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Esta avaliação das perdas de solo e água adquire importância fundamental na escolha de práticas de manejo do solo que visem minimizar sua degradação, visto que os processos de perda de solo são um dos principais testemunhos de estratégias errôneas de manejo. O uso de medidas de conservação do solo para avaliação da erosão é sugerido por Lima & Zakia (1998) como parte de um conjunto de indicadores hidrológicos de sustentabilidade de atividades florestais em microbacias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, caracterização da área e tratamentos

O estudo foi realizado em experimentos instalados nos plantios comerciais de eucalipto da empresa Celulose Nipo Brasileira S.A. – CENIBRA S.A., localizada na região do Vale do Rio Doce, no município de Guanhães, estado de Minas Gerais.


O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa (inverno seco e verão chuvoso) com temperatura do mês mais frio inferior a 18°C e a do mais quente ultrapassando 22 °C. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro. A precipitação média anual da região é de 1180,8 mm e altitude média é de 850m.

O solo da região em estudo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd), textura muito argilosa, A proeminente, álico, caulinitico-oxídico, mesoférrico, relevo ondulado, substrato gnaiss e granito-gnaiss (Cenibra, 2001). A descrição morfológica e resultados da análise química e mineralógica do perfil utilizado para classificação deste solo encontram-se em anexo (Tabelas 1A e 2A) (Cenibra, 2001). Segundo Silva, M.L.N. et al. (2002) a tolerância de perda de solo por erosão hídrica admissível para esta classe de solo na região é de 11,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os tratamentos são constituídos de três sistemas de manejo de eucalipto, dois sistemas caracterizando situações de uso do solo na região (pastagem nativa e solo descoberto) e um sistema utilizado como referencial, representando a condição original (floresta nativa) (Tabela 1). A caracterização química e mineralógica do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico estudado, realizada em amostras coletadas no sistema utilizado como referencial, encontra-se em anexo (Tabela 3A).

TABELA 1. Caracterização dos sistemas de manejo no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico na região do Vale do Rio Doce, município de Guanhães – MG.

Símbolo	Descrição	Histórico de uso
FN	Solo sob floresta nativa	Condição original.
PN	Solo sob pastagem nativa, representando a condição de degradação das pastagens da região.	Pastagem nativa degradada de longa duração.
SD	Solo descoberto: após a última colheita do eucalipto foram retirados os resíduos vegetais da área, mantendo o solo exposto. Constitui um referencial da condição de máxima exposição do solo ao processo erosivo, e caracteriza uma condição comum na região, que é o surgimento de “pelados” (sítios originados da erosão na ausência de vegetação, segundo Curi et al., 1992).	Os sistemas SD, EDq, ED e EN possuem o mesmo histórico de uso. O primeiro plantio de eucalipto foi realizado em 1974, estando hoje no 4º ciclo de cultivo. Anteriormente à instalação das parcelas de perda de solo em campo (maio de 2002), foi realizada a colheita mecânica do eucalipto utilizando o sistema Feller e Clambunk (dezembro de 2001). O plantio de eucalipto (junho de 2002), nos sistemas EDq, ED e EN, foi realizado em covas de 30 x 30 x 30cm abertas manualmente, sem preparo do solo, com o clone 1213. A previsão de produção está estimada em 40m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹ . A adubação de plantio constou de 90g de adubo N-P-K na formulação 06-30-06, 400g de fosfato reativo, 350g de cloreto de potássio com 1,5% de boro por planta.
EDq	Solo sob plantio de eucalipto no sentido da declividade do terreno onde foi realizada a queima de restos culturais após a última colheita do eucalipto	
ED	Solo sob plantio de eucalipto no sentido da declividade do terreno sem queima de restos culturais	
EN	Solo sob plantio de eucalipto em nível sem queima de restos culturais	



O espaçamento de plantio adotado para os tratamentos com eucalipto é de 3m entre plantas na linha e 3,33m entre plantas na entrelinha. A diferença entre os tratamentos com eucalipto plantado no sentido do declive do terreno (EDq e ED) e em nível (EN) está relacionada com o arranjo de plantio em campo, ou seja, nos sistemas EDq e ED a linha de plantio acompanha o sentido da declividade do terreno e no sistema EN a linha de plantio é perpendicular ao sentido do declive.

3.2 Amostragem

A amostragem para determinação de atributos do solo foi efetuada em outubro de 2002. O número de repetições utilizado é variável de acordo com a determinação, sendo em número de 4 para atributos físicos do solo, 10 para o teste de resistência do solo à penetração, e 3 para determinações químicas e mineralógicas.

Para quantificar as perdas de solo e água foram coletadas amostras em cada evento de chuva, segundo Cogo (1978a,b), no período compreendido entre 23 de outubro de 2002 e 5 de dezembro de 2003.

3.2 Determinações de atributos do solo

3.2.1 Amostras com estrutura deformada

As amostras de solo com estrutura deformada foram secas ao ar e passadas em peneira de 2mm. Foi realizada a determinação do ferro extraído pelo oxalato ácido de amônio (Feo) (Schwertmann, 1973; Jackson et al., 1986) e do ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Mehra & Jackson, 1960). A quantificação de caulinita (Ct) e gibsitita (Gb) foi feita por meio de análise térmica diferencial (ATD) na fração argila desferrificada, obtida do resíduo do tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio.

O carbono orgânico total (CO) foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (Walkley & Black, 1934). O estoque de carbono (Est C) foi calculado para a profundidade de 0 a 20 cm pela expressão:

$$\text{Est C} = (\text{CO} * \text{Ds} * e) / 10, \text{ onde:}$$

Est C: estoque de carbono (Mg ha^{-1});

CO: teor de carbono orgânico total (g kg^{-1});

Ds: densidade do solo da profundidade estudada (kg dm^{-3});

e: espessura da camada estudada (cm); neste caso corresponde a 20cm.

Para determinação do Est C (0 a 20cm) foram utilizados os resultados de CO para a profundidade de 0 a 20 cm e de densidade do solo na profundidade de 0 a 10cm, considerando a provável homogeneidade de densidade do solo na camada superficial (horizonte A - 15cm de espessura; horizonte BA - 20cm de espessura).

A densidade de partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, segundo metodologia proposta por Embrapa (1997). A determinação da análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965), após dispersão química ($\text{NaOH } 1\text{mol L}^{-1}$) e física (agitação rápida a 14000rpm por 15 minutos). A argila dispersa em água (ADA) foi determinada sem o uso de dispersante químico. O índice de floculação (IF) foi calculado segundo Embrapa (1997) pela expressão:

$$\text{IF} = [(\text{AT} - \text{ADA}) / \text{AT}] * 100, \text{ onde:}$$

IF: índice de floculação (%);

AT: argila total (g kg^{-1});

ADA: argila dispersa em água (g kg^{-1}).

3.2.2 Amostras com estrutura indeformada

As amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o amostrador de Uhland, em cilindros com dimensões médias de 8,26 cm de altura e 6,95 cm de diâmetro interno (volume médio de 313,19cm³).

A densidade do solo (Ds) foi determinada segundo Blake & Hatge (1986). O volume total de poros (VTP) foi calculado segundo expressão preconizada por (Danielson & Sutherland, 1986). A separação de macro e microporosidade foi realizada utilizando-se funil de placa porosa sob a tensão de 60cm de altura de coluna d'água em amostras previamente saturadas. O volume de água retido na amostra nesta condição corresponde aos microporos, e os macroporos são calculados por diferença (Grohmann, 1960b).

3.2.3 Teste de resistência à penetração

O teste de resistência do solo à penetração foi realizado em campo profundidade de 0 a 60cm, utilizando-se penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR – STOLF (Stolf et al. , 1983), com dez repetições para cada sistema de manejo estudado. A umidade gravimétrica foi determinada em amostras coletadas no momento da realização do teste em campo, pelo método da estufa, nas profundidades de 0 a 20cm, 20 a 40 cm e 40 a 60 cm.

3.2.4 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados foi determinada através de peneiramento em água com agregados secos e pré-umedecidos lentamente por capilaridade (Grohmann, 1960a; Oliveira et al., 1983; Kemper & Rosenau, 1986). A fração de agregados que passa na peneira de 7,93mm e fica retida na peneira de 4,76 foi separada em classes utilizando jogo de peneiras de malhas: 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,25mm; 0,105mm. Os resultados foram expressos em termos de diâmetro

médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2mm (> 2mm).

3.3 Avaliação das perdas de solo e água

As avaliações das perdas de solo e água foram realizadas em parcelas instaladas no campo (Figura 1), com dimensões de 4,0 x 24,0m para os tratamentos solo descoberto (SD), solo sob floresta nativa (FN) e solo sob pastagem nativa (PN) e 14,0 x 24,0m para os tratamentos com cultivo de eucalipto (EDq, ED e EN). As parcelas correspondentes aos tratamentos com cultivo de eucalipto obedecem ao espaçamento utilizado na região em estudo, sendo 3 x 3,33m, num total de 32 plantas por parcela. O comprimento da parcela acompanha o sentido do declive do terreno, e foram escolhidas áreas com declive característico da região em estudo. As parcelas foram contornadas com chapas galvanizadas com 40cm de largura, enterradas a uma profundidade de 20cm.

Na parte inferior das parcelas foram colocadas calhas coletoras, para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema coletor é constituído de um tanque de sedimentação, munido de um divisor do tipo Geib de 15 janelas, e um tanque coletor de água e sedimentos. A partir do sistema divisor tipo Geib, através de uma canaleta, após o enchimento do tanque de sedimentação, 1/15 de água da enxurrada é conduzida ao segundo tanque. Dentro do tanque de sedimentação foi colocado um recipiente para coleta de sedimentos (Figura 1).

A amostragem e a quantificação das perdas de solo e água foram realizadas segundo descrito em Cogo (1978a,b), no período compreendido entre 23 de outubro de 2002 e 5 de dezembro de 2003.

O potencial de arraste de sedimento (PAS) foi calculado pela razão entre as perdas de solo ($Mg\ ha^{-1}$) e as perdas de água (mm), conforme descrito por Martins et al. (2003).

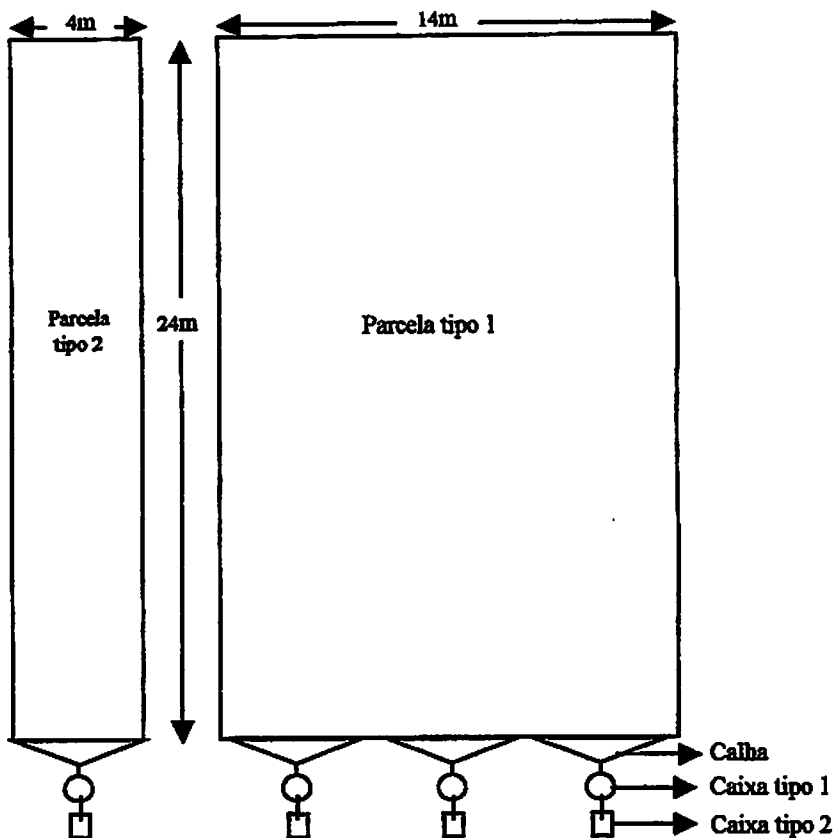


FIGURA 1. Desenho esquemático das parcelas de coleta de água e sedimento. As parcelas tipo 1 foram instaladas nos sistemas de manejo floresta nativa (FN), pastagem nativa (PN), solo descoberto (SD), e as tipo 2 nos sistemas eucalipto plantado no sentido do declive com queima (EDq), eucalipto plantado no sentido do declive sem queima (ED) e eucalipto plantado em nível sem queima (EN). As caixas “1” correspondem aos tanques de sedimentação, munidas de um divisor do tipo Geib de 15 janelas, e as caixas “2”, aos tanques coletores de água.

Os dados de precipitação foram obtidos através de estação automatizada instalada próxima à área experimental. Na Tabela 2 estão descritas informações sobre a localização das parcelas de perda de solo e água e da estação pluviométrica, em campo.

TABELA 2. Localização das parcelas de perda de solo e água em UTM (South American'69) por erosão hídrica e distância em relação à estação pluviométrica.

Sistemas	Coordenadas (UTM 23K SAD 69)	Distância¹ (km)
SD	0714842/7939987	6,82
FN	0715580/7939341	5,85
PN	0714540/7936481	5,01
EDq	0714869/7939988	6,80
ED	0714919/7939996	6,77
EN	0714894/7939994	6,79
Estação pluviométrica	0719267/7934827	-

¹Distância das parcelas de perda de solo em relação à estação pluviométrica em km.

3.4 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi caracterizado como inteiramente casualizado, atentando-se ao fato de que não é possível fazer esta casualização estrita em campo. As variáveis e suas interações foram submetidas a análises de variância, e a comparação de seus efeitos foi realizada através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). Foram utilizados os seguintes modelos, para cada conjunto de variáveis respostas estudadas:

(a) D_s , VTP, MACRO, MICRO, DMG, > 2mm, ADA, IF, MO, CO, Est C:

$$Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (geral)}, \text{ onde:}$$

Y_{ij} : valor de cada observação;

m: média da observação no sistema i;

Si: efeito do sistema i;

Erro (geral): resíduo geral.

(b) Resistência à penetração, umidade, MO e CO → parcela subdividida em faixas (profundidades):

$$Y_{ij} = m + S_i + \text{Erro (sistema)} + P_j + SP_{ij} + \text{Erro (geral)}, \text{ onde:}$$

Y_{ij} : valor de cada observação;

m: média da observação no sistema i;

Si: efeito do sistema i;

Erro (sistema): erro devido ao efeito da repetição dentro do sistema i;

P_j: efeito da profundidade j;

SP_{ij}: efeito da interação entre o sistema i e a profundidade j;

Erro (geral): resíduo geral.

Foram feitas correlações entre atributos do solo e perdas de solo por erosão hídrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5A, em anexo, são apresentados os valores de densidade de partículas e composição granulométrica do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob floresta nativa. Estes atributos não são sensíveis a alterações em função do manejo, sendo, portanto, apresentados com objetivo de caracterização da área de estudo. Apesar das diferenças entre os valores encontrados para argila, silte e areia, os solos enquadram-se na classe de textura muito argilosa. O fracionamento da areia evidencia uma maior proporção das frações areia grossa, areia média e areia fina. Nas discussões seguintes serão enfatizadas comparações entre latossolos de textura muito argilosa, com considerações quanto à classe de solo e textura, caso necessário.

4.1 Atributos físicos indicadores da qualidade do solo

4.1.1 Densidade do solo, porosidade total e distribuição de poros por tamanho

Os resultados de densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO), para os sistemas de manejo estudados, na profundidade de 0 a 10cm, estão apresentados na Tabela 3.

Os valores médios obtidos para densidade do solo variaram entre 0,87 e 1,23 kg dm⁻³, na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 3). Estes valores são inferiores aos obtidos por Martins et al. (2002) também em área florestal, em Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa.

A FN apresentou uma menor densidade do solo em relação aos demais sistemas de manejo, os quais não diferiram entre si, o que evidencia alteração desse atributo em função do uso e manejo do solo (Tabela 3). Alterações nos valores de densidade de solos cultivados em relação à condição natural são

reportadas por diversos autores, tanto no setor florestal (Cavenage et al., 1999; Martins et al., 2002) como em manejo agrícola (Corrêa, 1985; Da Ros et al., 1997; Carvalho Júnior et al., 1998; Cavenage et al., 1999; Beutler et al., 2001a; Rosa et al., 2003; Costa et al., 2003). A grande quantidade de resíduo vegetal incorporada ao solo no ambiente de floresta nativa, evidenciada pela presença de camada de aproximadamente 20cm de material vegetal sobre o solo no momento da amostragem (observação de campo), associado à não perturbação da estrutura pelo tráfego de máquinas, são os principais responsáveis por esse valor de densidade do solo ($0,87 \text{ kg dm}^{-3}$) observado para a camada superficial (Tabela 3). O comportamento semelhante da densidade do solo para os sistemas SD, EDq, ED e EN são condizentes com o fato de que estas áreas possuem o mesmo histórico de uso, além do pequeno intervalo de tempo entre o estabelecimento dos diferentes tratamentos em campo e a primeira amostragem.

TABELA 3. Densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACRO) e microporosidade (MICRO) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 10cm.

Sistema ¹	Ds		VTP	MACRO	MICRO
	.....kg dm ⁻³ ...	.....	.....m ³ m ⁻³ .....	.....m ³ m ⁻³ .....	.....
FN	0,87	b	0,650	0,327	0,320
PN	1,08	a	0,564	0,190	0,377
SD	1,23	a	0,498	0,102	0,395
EDq	1,14	a	0,540	0,172	0,370
ED	1,13	a	0,558	0,187	0,370
EN	1,18	a	0,542	0,172	0,372
CV (%)	7,35		7,45	29,44	5,15

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores de densidade do solo (Tabela 3) obtidos para os sistemas com eucalipto (1,13 a 1,18 kg dm⁻³) são inferiores aos valores relatados por Borges et al (1986), considerados como fatores de impedimento ao desenvolvimento radicular, compreendidos entre 1,25 e 1,35 kg dm⁻³. Apesar do provável efeito sobre o teor de matéria orgânica, a queima não afetou a densidade do solo nas avaliações realizadas. Em concordância, Hernani et al. (1987) também não verificaram diferença estatística entre os valores de densidade do solo das áreas queimada e não queimada, na camada superficial de latossolo argiloso.

Considerando todos os sistemas de manejo, os valores de porosidade total variaram entre 0,498 e 0,650m³m⁻³ (Tabela 3), concordando com resultados apresentados na literatura (Vieira & Muzilli, 1984; Corrêa, 1985; Da Ros et al., 1997; Carvalho Júnior et al., 1998; Seixas et al., 1998; Alvarenga & Davide, 1999; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001a; D'Andréa, 2001; Silva, 2001; Neves, 2002; Costa et al., 2003; Pedrotti et al., 2003; Rosa et al., 2003), para a camada superficial do solo.

A FN apresentou valores superiores de VTP em relação aos sistemas SD, EDq e EN, não diferindo, no entanto, dos sistemas PN e ED (Tabela 3). A redução do VTP em relação à FN corresponde a 23,38, 16,92% e 16,61%, respectivamente, para SD, EDq e EN. Apesar da porosidade total não ter sido afetada por todos os sistemas de manejo em estudo, diversos autores comprovam alteração do volume total de poros em função do manejo agrícola (Corrêa, 1985; Da Ros et al., 1997; Carvalho Júnior et al., 1998; Alcântara & Ferreira, 2000; Beutler et al., 2001a; Silva, 2001; Klein & Libardi, 2002; Neves, 2002; Rosa et al., 2003), e, ou, manejo florestal (Alvarenga & Davide, 1999). Seixas, Oliveira Júnior & Souza (1998) verificaram que a colheita mecanizada em área florestal chega a provocar reduções do VTP da ordem de 34%, em média, na camada superficial, em relação à situação anterior, em solo de textura arenosa.

Não foram observadas diferenças de VTP (Tabela 3) entre os sistemas com eucalipto, os quais também não diferiram do sistema SD, o que é justificado pelo longo histórico de uso da área em relação ao pequeno intervalo de tempo entre implantação dos tratamentos em campo e avaliação. A PN apresentou valor de porosidade total intermediário, considerando todos os sistemas.

Com relação à macroporosidade (Tabela 3), a FN apresentou valor superior ao encontrado para os demais sistemas, os quais não diferiram entre si, evidenciando alteração em função do manejo. Em contradição, Alvarenga & Davide (1999) relatam situação onde os sistemas com eucalipto e com pastagem apresentaram a mesma macroporosidade observada para a condição natural, variando somente em relação aos cultivos anuais, os quais apresentaram valores inferiores.

Considerando o limite inferior das condições ideais de macroporosidade ($0,10\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) proposto por Baver et al. (1972), nenhum dos sistemas em estudo (Tabela 3) apresentou valor crítico de macroporosidade. Martins et al. (2002) encontraram valores de macroporosidade inferiores a essa faixa estabelecida como condição ideal, em sistemas florestais. Comparando os valores de macroporosidade obtidos antes e após a realização da colheita mecanizada de eucalipto, Seixas & Oliveira Júnior (2001) observaram redução de macroporosidade de até 56%, em solo argiloso seco, na camada superficial. No entanto, os valores obtidos após a colheita ($0,132$ a $0,182\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) estão ainda dentro dos limites considerados ideais relatados anteriormente, em função dos valores de macroporosidade bem superiores verificados na situação inicial ($0,290$ a $0,354\text{m}^3\text{ m}^{-3}$) (Seixas & Oliveira Júnior, 2001).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para microporosidade. A FN apresentou microporosidade inferior àquela observada para os demais sistemas avaliados, evidenciando que houve alteração deste atributo do solo em função do manejo, em concordância com resultados relatados por Klein & Libardi (2002).

Alvarenga & Davide (1999) observaram alteração da microporosidade somente em cultivos anuais, e os valores obtidos para a condição natural e sistemas com pastagem e eucalipto foram estatisticamente iguais, corroborando com este estudo. Por outro lado, Beutler et al. (2001a) e Martins et al. (2002) não verificaram modificação neste atributo na camada superficial. Os valores obtidos neste trabalho são discretamente inferiores aos relatados por Martins et al. (2002) em áreas de florestas. Pedrotti et al. (2003) e Beutler et al. (2001a) apresentam valores semelhantes para o mesmo tipo de solo, em diferentes sistemas de manejo.

Em síntese, foram observadas alterações nos atributos densidade do solo, macroporosidade e microporosidade em relação à condição natural, não sendo possível, no entanto, verificar efeito dos manejos propostos para os sistemas com eucalipto, os quais também não diferiram do SD, provavelmente em função do longo histórico de uso da área em comparação com o curto período de tempo de instalação do experimento. As alterações em relação à porosidade total não foram tão evidentes.

4.1.2 Resistência do solo à penetração

Os resultados do teste de resistência à penetração para os seis sistemas estudados estão apresentados na Figura 2. As discussões serão realizadas com base nos valores médios de resistência à penetração obtidos para cada sistema de manejo (Tabela 13A), sendo também utilizados valores mínimos e máximos atingidos pelos sistemas de manejo (Tabela 4).

Os resultados de resistência à penetração evidenciam que as maiores variações entre os sistemas ocorrem na profundidade de 10 a 30 cm (Figura 2). Os menores valores para todos os sistemas são verificados na profundidade de 2,5 cm, variando de 0,86 MPa para a FN a 2,80 MPa para o SD (Tabela 4). Nesta profundidade a maioria dos sistemas (FN, PN, EDq e EN) apresentou

valores menores que 2,0 MPa, valor limite entre as classes de resistência à penetração moderada e alta, segundo Arshad et al. (1996) (Tabela 10A).

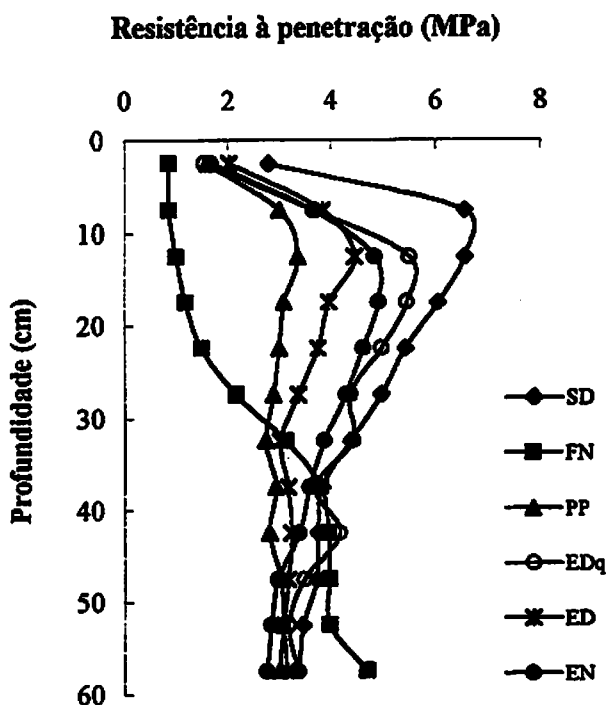


FIGURA 2. Resistência à penetração do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, na profundidade de 0 a 60cm, sob diferentes sistemas de manejo: FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.

Na profundidade de 5 e 25cm foram encontrados os valores mais limitantes com relação a resistência à penetração para todos os sistemas, à exceção da FN, que permanece com valores inferiores a 2,0MPa (Figura 2). Nesta profundidade, a seqüência FN<PN<ED<EN<EDq<SD representa o

comportamento dos sistemas, evidenciando o efeito dos manejos propostos, já que os valores mais elevados foram observados quando o solo foi deixado descoberto e quando os resíduos vegetais foram queimados. A PN apresenta pequena variação quanto à resistência à penetração em profundidade; no entanto, atingiu valor da ordem de 3,35MPa aos 12,5cm (Tabela 4). O valor máximo obtido foi de 6,56MPa para o SD na profundidade de 12,5cm (Tabela 4). Ainda para a profundidade de 5 a 25cm (Figura 2), apesar de terem sido verificadas diferenças entre os sistemas com eucalipto, todos apresentaram valores elevados, sendo enquadrados nas classes de resistência à penetração alta e muito alta (Tabela 10A). Entretanto, dentre eles, o tratamento que tiveram os resíduos vegetais queimados apresentou os maiores valores de resistência à penetração.

TABELA 4. Valores mínimos e máximos de resistência à penetração (MPa), observados a determinada profundidade (cm) no perfil do solo, para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema ¹	V _{mín} ²	V _{máx} ²
FN	0,86 (2,5) ³	4,70 (57,5)
PN	1,68 (2,5)	3,35 (12,5)
SD	2,80 (2,5)	6,56 (7,5)
EDq	1,55 (2,5)	5,50 (12,5)
ED	2,03 (2,5)	4,46 (12,5)
EN	1,68 (2,5)	4,91 (17,5)

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.

²V_{mín} e V_{máx}: valor mínimo e valor máximo de resistência à penetração, em MPa, obtidos para cada sistema.

³Os valores apresentados entre parênteses correspondem às profundidades, em centímetros, nas quais foram observados os valores mínimos e máximos.

Na profundidade de 40 e 60 cm os resultados apontam valores elevados para todos os sistemas (Figura 2). Os sistemas PN, SD, ED e EN enquadram-se na classe alta de resistência à penetração, enquanto a FN e EDq atingem valores superiores a 4,0MPa (Tabelas 10A e 13A). Considerando que não foi realizado preparo do solo nos sistemas com eucalipto, e o plantio foi realizado em covas de 30cm de profundidade, valores elevados em profundidades superiores a 30cm podem causar restrições ao desenvolvimento inicial da planta.

Considerando o valor crítico de 3,0MPa de resistência do solo à penetração adotado por Seixas & Oliveira Júnior (2001), citando Greacen & Sands (1980), a resistência à penetração para os sistemas FN e PN pode ser considerada limitante nas profundidades de 30 a 60cm e de 5 a 20cm, respectivamente. Os sistemas SD, EDq, ED e EN também apresentaram valores superiores a 3,0MPa na profundidade de 5 a 60cm. Martins et al. (2002) também relatam valores de resistência à penetração superiores a 3,0MPa em povoamentos de eucalipto na profundidade de 20 a 60cm. Resultados condizentes também estão expostos em Seixas & Oliveira Júnior (2001) para condição de solo argiloso seco após colheita, na profundidade de 25 a 50cm. Aumento dos valores de resistência à penetração em maiores profundidades também são verificados em Ferreira (1998) e Oliveira Júnior (1998) em consequência do tráfego em sistemas florestais.

Smith et al. (1997) relatam correlação entre os parâmetros densidade do solo e resistência à penetração. Neste estudo também foi possível verificar que os valores crescentes para esses atributos obedecem à seqüência floresta nativa < pastagem < eucalipto < solo descoberto, para a profundidade de 0 a 10cm (profundidade em que a densidade do solo foi avaliada).

Diante do exposto, verifica-se que, em geral, os valores de resistência do solo à penetração obtidos são considerados elevados, visto que à exceção da FN, todos os sistemas apresentaram valores superiores a 2MPa na maior parte do

perfil estudado (5 a 60cm). No entanto, até mesmo no sistema FN, que é tido como referencial para comparação, os valores de resistência à penetração aumentaram consideravelmente em profundidade. As maiores alterações em relação à condição natural foram verificadas nas profundidades de 0 a 25cm, que correspondem às faixas onde a FN apresentou valores inferiores a 2MPa, e os sistemas obedecem à seguinte ordem crescente de resistência à penetração: FN < PN < ED < EN < EDq < SD. A partir de 25cm de profundidade, os sistemas encontram-se distribuídos nas classes de resistência à penetração alta e muito alta (Tabela 10A).

Conforme mencionado anteriormente e em concordância com a literatura (Seixas et al. 1998; Beutler, 1999; D'Andréa, 2001; Seixas & Oliveira Júnior, 2001; Silva, 2001; Neves, 2002), a discussão anterior foi realizada com base em valores médios dos dados obtidos em campo (Tabela 13A). No entanto, a grande variabilidade dos dados de resistência à penetração, evidenciada pelos coeficientes de variação (Tabelas 12A), justifica fazer uma ressalva quanto às considerações anteriormente feitas. As tendências de comportamento dos sistemas apresentadas não permitem inferências seguras a respeito da real influência dos sistemas de manejo na resistência do solo à penetração em função do caráter variável desse parâmetro em condições de campo.

4.1.3 Atributos de agregação

4.1.3.1 Índice de floculação

Os resultados obtidos na determinação do índice de floculação (IF) estão apresentados na Tabela 5. Os valores obtidos variaram entre 91,12 e 95,46%, e não foram verificadas alterações em relação à condição natural, nem entre os sistemas de manejo sugeridos para a cultura do eucalipto. O sistema SD apresentou o menor valor absoluto, diferindo apenas do sistema ED. Os valores

de IF encontrados são superiores aos apresentados por Martins et al (2002) para sistemas florestais e por Silva et al. (2000) e Beutler et al. (2001b) para diversos sistemas agrícolas.

TABELA 5. Índice de floculação (IF) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 10cm.

Sistema ¹	IF
	%.....
FN	93,08 ab
PN	94,70 ab
SD	91,12 b
EDq	91,83 ab
ED	95,46 a
EN	93,44 ab
CV Geral (%)	1,98

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.3.2 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados foi avaliada através dos índices diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2mm (>2mm), em amostras submetidas ou não ao pré-umedecimento. Os resultados para DMG e >2mm estão apresentados na Tabela 6.

Os valores obtidos para DMG (Tabela 6) foram inferiores para o peneiramento via úmida realizado com as amostras secas, corroborando com Grohmann (1960a), Rando (1981), Oliveira et al. (1983), Beutler (1999). Os resultados sugerem inferências diferentes com relação ao comportamento dos

sistemas estudados nas avaliações com e sem pré-umedecimento, situação também relatada por Beutler (1999).

TABELA 6. Diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2,0mm (>2mm), determinados com e sem pré-umedecimento, do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 20cm.

Sistema ¹	DMG		>2mm	
	Com ²	Sem ²	Com ²	Sem ²
	.....mm.....			
FN	4,90 ab	4,68 a	99,39 ab	97,14 a
PN	4,71 b	3,95 ab	97,89 b	88,94 a
SD	4,79 ab	2,95 b	98,57 ab	71,50 b
EDq	4,92 a	3,95 ab	99,53 a	87,46 ab
ED	4,92 a	4,33 a	99,54 a	92,55 a
EN	4,89 ab	4,07 a	99,14 ab	89,82 a
CV (%)	1,83	12,17	0,69	8,21

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.

²Teste de estabilidade de agregados foi realizado com e sem pré-umedecimento das amostras.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na avaliação com pré-umedecimento, os valores de DMG para os sistemas FN e SD não diferiram entre si nem em relação aos demais tratamentos (Tabela 6). Os sistemas com eucalipto também não apresentaram alterações de DMG em função do manejo. O sistema PN apresentou DMG inferior aos sistemas EDq e ED. O sistema radicular de gramíneas tende a favorecer a agregação do solo (Silva et al., 1998; D'Andréa, 2001); no entanto, é provável que as possíveis explicações para esse resultado estejam relacionadas com a dificuldade de obter material adequado para realização das análises, visto que os

agregados estavam se rompendo ao serem separados do sistema radicular da gramínea, associado à condição de degradação da pastagem na parcela amostrada. De qualquer maneira, a PN não diferiu com relação aos resultados obtidos para DMG do sistema considerado referencial, a FN, nem dos sistemas SD e EN. Os resultados obtidos nesta análise, para todos os sistemas, são superiores aos valores obtidos por Silva & Mielniczuk (1997), Alcântara & Ferreira (2000) e D'Andréa et al. (2002a) em sistemas agrícolas, por Neves (2002) em sistema agrossilvopastoril e por Martins et al. (2002) em povoamentos florestais.

Na situação sem pré-tratamento (Tabela 6), o SD diferiu da FN, ED e EN, apresentando valores de DMG inferiores, evidenciando o efeito da manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo na agregação. Os sistemas PN e EDq apresentaram valores de DMG intermediários, e não diferiram significativamente de nenhum outro sistema.

Essas diferenças de comportamento dos sistemas em relação à determinação de DMG com e sem pré-umedecimento não são de todo contrastantes (Tabela 6). Os resultados obtidos nessa determinação são condizentes com os diferentes manejos propostos neste estudo, o que não permite, entretanto, inferir sobre a maior eficiência de um dos métodos.

Diante dos elevados resultados obtidos para a estabilidade de agregados observada através do DMG (valores entre 4,71 e 4,92mm no método com pré-umedecimento e entre 2,95 a 4,68 para o método sem pré-umedecimento), também para o índice porcentagem de agregados maiores que 2mm os resultados foram positivos, atingindo valores de 97,89 a 99,54% para agregados com pré-umedecimento e 71,50 e 97,14% no método sem pré-umedecimento (Tabela 6). O comportamento dos sistemas frente aos resultados de porcentagem de agregados maiores que 2mm (considerando os dois métodos) foi o mesmo

verificado para o DMG, o que sugere uma boa correlação entre os índices utilizados.

A estabilidade de agregados observada para os sistemas estudados é condizente com os resultados de IF apresentados na Tabela 5, visto que a floculação é uma das pré-condições necessárias (floculação e cimentação) para que ocorra a agregação do solo. Considerando o papel destacado da matéria orgânica na agregação serão realizadas considerações em relação ao efeito do teor e estoque de carbono orgânico no solo sobre os índices de estabilidade de agregados discutidos anteriormente. Entretanto, não foram verificadas correlações significativas entre os índices de agregação e esses parâmetros.

4.1.3.3 Carbono orgânico total e estoque de carbono

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de carbono orgânico total (CO) e estoque de carbono (Est C) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico estudado para os diferentes sistemas de manejo estudados.

Tanto para carbono orgânico como para estoque de carbono no solo não foram observadas diferenças estatísticas entre os sistemas. Contrastando com este resultado, alterações nos teores de carbono orgânico em função de modificação da condição natural do ambiente são relatadas na literatura tanto em sistemas agrícolas (Bayer & Mielniczuk, 1997; Tognon et al., 1997; Corazza et al., 1999; Marchiori Júnior & Melo, 2000; D'Andréa, 2001; Rosa et al., 2003) como em sistemas florestais (Alvarenga & Davide, 1999; Corazza et al., 1999). Em adição, Tognon et al. (1997), relatam que em ambientes sob mata nativa, as perdas de carbono orgânico são superiores àquelas encontradas quando a condição de cerrado é substituída pelo uso agrícola, considerando culturas anuais, nos sistemas de preparo do solo convencional e plantio direto, com ou sem uso de irrigação. Uma provável explicação para este fato pode estar relacionada com a variabilidade dos dados obtidos, evidenciada pelos valores de

coeficiente de variação apresentados. Por outro lado, em solos de regiões tropicais, com altos teores de argila, a formação de complexos entre substâncias húmicas e compostos inorgânicos, como óxidos, contribui positivamente para a estabilidade da matéria orgânica (Stevenson, 1994; Oades, 1984). A matéria orgânica contribui com a agregação do solo, e ao mesmo tempo, aquela fração presa no interior dos microagregados encontra-se fisicamente protegida da ação de microrganismos (Tisdall & Oades, 1982). Estes fatores podem estar relacionados ao fato de que todos os sistemas em estudo apresentaram resultados favoráveis de CO (Tabela 7) e DMG (Tabela 6).

TABELA 7. Carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (Est C) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 20cm.

Sistema ¹	CO	Est C
	.....g kg ⁻¹.....	.....Mg ha ⁻¹
FN	36,69 a	63,80 a
PN	26,44 a	56,98 a
SD	26,65 a	65,68 a
EDq	25,79 a	49,04 a
ED	33,70 a	76,20 a
EN	31,86 a	75,13 a
CV Geral (%)	18,44	17,03

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5%.

Um outro ponto importante que deve ser considerado é a ausência de alteração em relação à condição em que os resíduos vegetais foram queimados, conforme também relatado por Cerri et al. (1985) e Hernani et al. (1987), em Latossolo Amarelo. Apesar da drástica ação do fogo, alguns mecanismos de

proteção da matéria orgânica, mencionados anteriormente, podem estar atuando em seu favor.

Os valores obtidos para carbono orgânico variaram entre 25,79 e 36,69g kg⁻¹. Estes valores são superiores ao relatados por Alvarenga & Davide (1999) em áreas de reflorestamento de eucalipto. Lepsch et al. (1994), Marchiori Júnior & Melo (2000) e Freixo et al. (2002) encontraram valores condizentes com os obtidos neste estudo em condição de mata natural. Valores semelhantes aos obtidos neste estudo são relatados na literatura para a condição de pastagem por Freitas et al. (2000) e D'Andréa et al. (2002b).

Com relação ao estoque de carbono no solo (Tabela 7), existe uma ampla variação em relação aos valores brutos obtidos entre os sistemas, os quais estão compreendidos entre 49,04 e 76,20Mg ha⁻¹, para a profundidade de 0 a 20cm. Por outro lado, estes resultados obtidos para estoque de carbono para todos os sistemas de manejo são superiores aos relatos por diversos autores, e provavelmente estejam favorecendo a qualidade física do solo estudado, evidenciando o papel da matéria orgânica do solo, conforme discutido anteriormente. Corazza et al. (1999) encontraram valores inferiores nessa profundidade em área de reflorestamento com eucalipto (44,87 Mg ha⁻¹), pastagem cultivada (42,18 Mg ha⁻¹) e cerrado nativo (39,77 Mg ha⁻¹), o que também é observado por Machado & Silva (2001) (47,8Mg ha⁻¹) em solo sob floresta nativa, e por Freitas et al. (2000) sob pastagem de longa duração, degradada (35,4Mg ha⁻¹) ou não (38,1 Mg ha⁻¹). Valores condizentes com os do presente estudo são observados em Freixo et al. (2002) (55,6Mg ha⁻¹) em solo sob floresta nativa e Silva (2001) em um cultivo convencional de eucalipto (50,2Mg ha⁻¹).

4.2 Perdas de solo e água por erosão hídrica

A Figura 3 representa a distribuição de precipitação mensal para a área em estudo no período de outubro de 2002 a dezembro de 2003. Conforme já caracterizado (Material e Métodos), observa-se a presença de duas estações marcantes durante o ano, uma seca e uma chuvosa. A precipitação total nesse período foi de 1602,76mm, sendo 523,22mm nos meses de outubro a dezembro de 2002 e 1079,53mm no ano de 2003. A precipitação em 2003 foi ligeiramente inferior à média da região, que é de 1180,8mm.

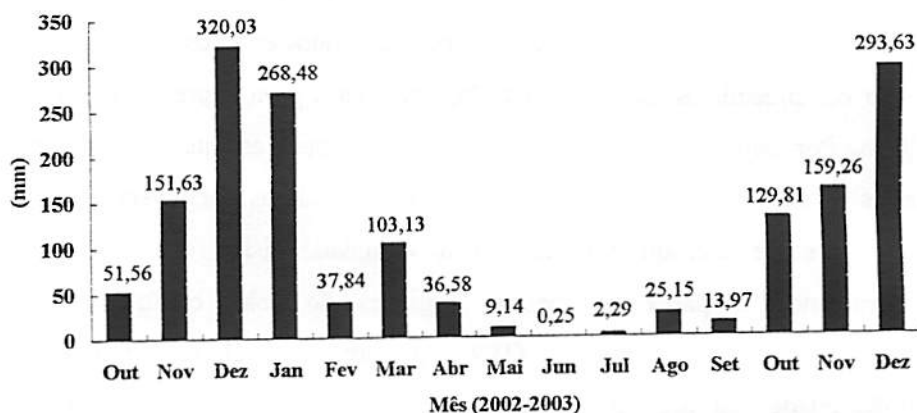


FIGURA 3. Precipitação pluviométrica (mm) para o período de outubro de 2002 a dezembro de 2003.

A Tabela 8 apresenta a declividade, os resultados de perdas de solo e água por erosão hídrica e o potencial de arraste de sedimento (PAS) para os diferentes sistemas de manejo obtidos no período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.

Com relação à declividade, a FN enquadra-se em classe de maior declive (forte ondulado) em relação aos demais sistemas (ondulado).

No período em estudo, as perdas de solo nos diversos sistemas de manejo variaram de 0,011 a 1,770Mg ha⁻¹ (Tabela 8). Esses valores de perdas de solo estão muito abaixo da tolerância admissível por erosão hídrica estabelecida para essa classe de solo na região, que é de 11,22Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Silva, M.L.N. et al., 2002). Considerando somente os sistemas com eucalipto, as perdas de solo variam entre 0,53 a 1,03% da tolerância admissível, evidenciando adequação do sistema de uso e manejo do solo nas condições em estudo.

TABELA 8. Declividade, perdas de solo e água acumuladas, perdas de água em relação ao total precipitado e potencial de arraste de sedimento (PAS), para os diferentes sistemas de manejo, no período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.

Sistema ¹	Declividade	Perda de solo	Perda de água		PAS
	....% ....	....Mg ha ⁻¹....	...mm...	...% ² ...	Mg ha ⁻¹ mm ⁻¹
FN	26,8	0,011	2,24	0,14	0,0048
PN	19,4	0,412	9,23	0,58	0,0447
SD	17,6	1,770	23,66	1,48	0,0748
EDq	17,6	0,063	11,46	0,72	0,0055
ED	17,6	0,098	17,75	1,11	0,0055
EN	17,6	0,116	8,62	0,54	0,0134

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.
²Porcentagem de perda de água em relação à precipitação acumulada no período do estudo.

Os resultados obtidos para perda de solo (Tabela 8) entre os sistemas obedecem à seqüência: floresta nativa < eucalipto < pastagem nativa < solo descoberto. Esses resultados evidenciam a eficiência da floresta nativa em proteger o solo contra o impacto da gota da chuva, mesmo encontrando-se em condição de maior declividade na paisagem e, por outro lado, a exposição do solo favorecendo a erosão hídrica. Apesar de as perdas de solo nos sistemas com

eucalipto serem superiores às observadas na FN, os baixos valores obtidos permitem inferir sobre a sustentabilidade ambiental desses sistemas, em relação à erosão hídrica, nas condições em estudo.

Dentre os tratamentos com plantio de eucalipto, os valores crescentes de perda de solo (Tabela 8) foram verificados, respectivamente, para EDq, ED e EN, o que não condiz com a expectativa, mas que pode ser justificado em função do curto período de avaliação das perdas de solo. Esse tipo de estudo exige um maior tempo de condução do experimento, visando a uma avaliação embasada em conjunto de dados mais detalhado, que caracterize melhor o processo erosivo em sistemas florestais.

Os valores de perdas de solo acumulados para o período em estudo obtidos nos tratamentos com eucalipto variaram entre 0,063 e 0,116 Mg ha⁻¹ (Tabela 8). Lima (1996) encontrou valores bem superiores (1,0 a 10,4 Mg ha⁻¹) de perda de solo em microparcelas reflorestadas com eucalipto, também no primeiro ano de estudo, em solo arenoso. Segundo este mesmo autor, com o crescimento do eucalipto, o escoamento superficial e as perdas de solo diminuíram, atingindo no quarto ano valores entre 0,01 e 0,1Mg ha⁻¹, evidenciando o efeito da cobertura vegetal. Já em Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa, as perdas de solo, também para o primeiro ano após o corte raso do eucalipto, são de aproximadamente de 0,04 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Vital et al., 1999). Martins et al. (2003) encontraram valores médios anuais entre 1,16 e 1,85 Mg ha⁻¹ para eucalipto em Argissolo Amarelo textura média/argilosa, Plintossolo Háplico e Argissolo Amarelo moderadamente rochoso.

Considerando ainda somente os resultados obtidos para os sistemas com eucalipto (Tabela 8), valores superiores de perda de solo são relatados por diversos autores sob outros sistemas de manejo, como o sistema agroflorestal (Franco et al., 2002), pastagem (Santos et al., 1998; Mahmoudzadeh, 2002),

sistema convencional de preparo do solo (Hernani et al., 1997; Hernani, Kurihara & Silva, 1999; Franco, Couto & Carvalho, 2002; Mahmoudzadeh et al., 2002; Cogo et al., 2003), diferentes sistemas de manejo de resíduo vegetal (De Maria & Lombardi Neto, 1997), plantio direto (Hernani et al., 1997; Hernani et al., 1999) e sob solo descoberto (De Maria & Lombardi Neto, 1997; Hernani et al., 1997; Santos et al., 1998; Hernani et al., 1999; Martins et al., 2003), destacando a proteção oferecida por sistemas florestais em relação à erosão hídrica.

Os valores obtidos para perda de água variaram entre 2,24 e 23,66mm, e representam de 0,14 a 1,48% da precipitação acumulada no período, que foi da ordem de 1602,76mm (Tabela 8). Esses baixos valores de perda de água observados em todos os sistemas de manejo são altamente positivos, permitindo inferir sobre o bom aproveitamento de água no sistema, nas condições em estudo.

Em concordância com o resultado obtido para perda de solo, os valores extremos de perda de água também são referentes aos sistemas FN e SD (Tabela 8). No entanto, os resultados para os demais sistemas diferiram, em parte, em relação aos observados para perda de solo, visto que a PN apresentou menor perda de água que os sistemas EDq e ED, apesar da maior perda de solo.

Entre os sistemas com eucalipto, o escoamento superficial variou entre 0,54 e 1,1% da precipitação (Tabela 8). A maior perda de água foi observada para o ED e a menor para o EN, variando de 8,62 e 17,75mm. Valores superiores a estes foram verificados em área com reflorestamento de eucalipto (Martins et al., 2003), em sistema convencional (Hernani et al., 1997; Hernani et al., 1999; Cogo et al., 2003), em sistema de plantio direto (Hernani et al., 1997; Hernani et al., 1999), e sob solo descoberto (Hernani et al., 1997; Hernani, 1999).

O potencial de arraste de sedimentos (PAS), que corresponde às perdas de solo por mm de enxurrada, variou de 0,0048 a 0,0748Mg ha⁻¹ mm⁻¹.

Conforme observado para as perdas de água, os valores extremos de PAS referem-se aos sistemas FN e SD, evidenciando a importância da cobertura vegetal no contexto de erosão. O comportamento dos demais sistemas (PN, EDq, ED e EN) não é condizente com o resultado obtido para perda de água no período em estudo. Os menores valores obtidos para os sistemas com eucalipto podem ser atribuídos à interceptação da gota da chuva pela copa das árvores. Por outro lado, o maior PAS verificado na PN, em relação aos sistemas com eucalipto, provavelmente esteja relacionado à condição de degradação da mesma (observações de campo), que pode ter favorecido a uma maior perda de solo.

As considerações feitas anteriormente permitem inferir sobre a adequação do manejo e sustentabilidade dos plantios comerciais de eucalipto, no tocante à erosão hídrica. Neste contexto, é importante ressaltar a relação que existe entre alguns dos atributos do solo avaliados anteriormente e o processo erosivo. Os resultados positivos apresentados para o índice de floculação e estabilidade de agregados (DMG e $>2\text{mm}$) ajudam a explicar os baixos valores de perda de solo e água por erosão hídrica obtidos nas condições em estudo. Em concordância, Resende (1985) relata que os solos da região em estudo apresentam diversas características que ajudam a reduzir substancialmente a erosão, como permeabilidade acentuada, alguma coerência entre grânulos, estrutura tipicamente entre a estrutura em blocos e a granular, horizonte C com menor erodibilidade dentre os Latossolos, e teores consideráveis de matéria orgânica.

4.3 Relação entre atributos físicos do solo e erosão hídrica

Com o objetivo de avaliar o grau de dependência entre os atributos do solo e o processo erosivo, foram realizadas análises de correlação entre os mesmos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 9.

Foram verificadas correlações negativas e significativas entre as perdas de solo e os parâmetros diâmetro médio geométrico e a porcentagem de agregados maiores que 2mm, quando obtidos a partir da análise sem pré-umedecimento da amostra. Esses resultados possibilitam fazer inferências sobre a relação entre a agregação e o processo erosivo, nas condições em estudo, ou seja, uma melhor agregação do solo, expressa por maiores valores de DMG e >2mm (índices de estabilidade de agregados), contribuiu para redução das perdas de solo por erosão hídrica.

TABELA 9. Coeficientes de correlação entre perdas de solo por erosão hídrica e atributos do solo estudados.

Atributos	Perda de solo
Ds	0,52 ^{NS}
VTP	-0,63 ^{NS}
MACRO	-0,65 ^{NS}
MICRO	0,63 ^{NS}
DMG (úmido)	-0,55 ^{NS}
DMG (seco)	-0,92*
>2mm (úmido)	-0,51 ^{NS}
>2mm (seco)	-0,94*
IF	-0,55 ^{NS}
CO	-0,48 ^{NS}
EstC	0,02 ^{NS}

^{NS}: não significativo ao nível de 5% pelo teste t;

*: significativo ao nível de 5% pelo teste t.

5 CONCLUSÕES

Os atributos densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e resistência do solo à penetração mostraram-se sensíveis a alterações da condição natural em função do manejo florestal, o que não foi observado para os índices de estabilidade de agregados utilizados (diâmetro médio geométrico e porcentagem de agregados maiores que 2mm).

A estabilidade de agregados, avaliada sem o pré-umedecimento das amostras, apresentou correlação negativa significativa com as perdas de solo.

A queima de resíduos vegetais e a orientação de plantio não promoveram efeito significativo sobre os resultados de perdas por erosão. Todos os sistemas com eucalipto apresentaram baixos valores de perda de solo em relação ao limite de tolerância de perda de solo, durante o período de avaliação experimental.

Os resultados de perda de solo evidenciam a sustentabilidade ambiental e adequação do sistema de manejo, no contexto de erosão hídrica, dos plantios florestais de eucalipto, nas condições em que o estudo foi realizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A duração do experimento de campo é um fator importante na avaliação de perdas de solo e água por erosão hídrica. Neste sentido, é válida a continuidade deste estudo com intuito de se obter resultados consistentes a longo prazo, em áreas de plantios comerciais de eucalipto. Apesar de não ter sido verificado efeito da queima dos resíduos do eucalipto, essa prática deve ser desestimulada, dada a importância da manutenção da matéria orgânica em solos tropicais e a necessidade de redução da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. A descontinuidade de plantas no sentido do declive do terreno tende a ter efeito benéfico sobre velocidade da enxurrada, favorecendo o aproveitamento de água no sistema e minimizando as perdas de solo. Deste modo, sugere-se a experimentação com outras disposições de plantio, como, por exemplo, o arranjo de plantas em quincôncio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) sobre a qualidade física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 711-721, out./dez. 2000.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-9422, out./dez. 1999.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, maio/ago. 1996.

ALVAREZ V. , V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de; Determinação e uso do fósforo remanescente. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2000.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Society of America, 1996. p. 123-141. (SSAA Special Publication, 49)

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. *Soil physics*. 4. ed. New York: John Wiley, 1972. 498 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In. : SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap. 2, p. 9-26.

BELTRAME, L. F. S.; GONDIM, L. A. P.; TAYLOR, J. C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, n. 3, p. 145-149, set./dez. 1981.

BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR. R. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1982. 57 p. (Circular, n. 20).

BEUTLER, A. N. Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado sob setes sistemas de manejo. 1999. 69 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001a.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 25, n. 1, p. 129-136, jan./mar. 2001b.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Alumíniférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 509-517, maio/jun. 2003.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: **KLUTE, A. (Ed.).** *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 363-375.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Respostas de mudas de eucalipto à camadas compactadas de solo. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 181-195, out/dez. 1986.

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

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na região do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 505-514, jul./set. 1998.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo de amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 527-538, jul./set. 1998.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; MUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 997-1003, out./dez. 1999.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S. A. Levantamento semidetalhado dos solos das regiões do Rio Doce, Cocais, Sabinópolis e Virginópolis. Ipatinga: CENIBRA. 2001. v. 1, 101 p.

CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1-4, jan./abr. 1985.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: I – Sugestões gerais, medição do volume, amostragem e quantidade de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978a. p. 75-97.

COGO, N. P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de solo por erosão em condições de chuva natural: II – Alguns conceitos básicos e modelos de uma ficha para registro das características da chuva e perdas de solo e água (1ª aproximação). In: **ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA – CNPT, 1978b. p. 99-107.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, jul./ago. 2003.

- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. W.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999.
- CORRÊA, J. C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 11, p. 1317-1322, nov. 1985.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, maio/jun. 2003.
- CURI, N.; CARMO, D. N.; BAHIA, V. G.; FERREIRA, M. M.; SANTANA, D. P. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.
- D'ANDRÉA, A. F. Atributos indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás. 2001. 106 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade federal de Lavras, Lavras, MG.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1047-1054, out./dez. 2002a.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 919-929, out./dez. 2002.
- DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed). *Methods of soil analysis. Part 1 - Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 545-566.

DE MARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 2, p. 263-270, abr./jun. 1997.

DECHEN, S. C. F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 5, n. 2, p. 133-137, maio/ago. 1981.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In. : NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. , V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

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

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR/ sistema para análise de variância) para Windows® versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. *Programas e Resumos . . .* São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. C. D. Compactação do solo por tráfego de máquinas de colheita em um plantio florestal de *Eucalyptus saligna*. 1998. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Sp

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

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Campinas, v. 23, p. 507-514, 1999b.

FONSECA, S. Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho Amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagem. 1984. 78 p. Tese (Mestrado) – Universidade federal de Viçosa, viçosa, MG.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E. I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J. A. A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 751-760, out./dez. 2002.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A. & FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 64, n. 3/4, p. 221-230, Mar. 2002.

GARCIA, S. F.; SILVA, A. S. Evolução temporal da erosão de um latossolo vermelho-amarelo em uma estação experimental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais....* Ribeirão Preto: UNESP/SBCS, 2003. CD-ROM.

GARCÍA-OLIVA, F.; SANFORD Jr, R. L.; KELLY, E. Effects of slash-and-burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous Forest. *Geoderma*, Amsterdam, v. 88, n. 1/2, p. 1-12, Feb. 1999.

GAVA, J. L. Cultivo mínimo de solos com textura arenosa e média em áreas planas e suave-onduladas. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed). *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 221-244.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 885-893, out./dez. 2002.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed). *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 47-130.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 131-204.

GROHMANN, F. Análise de agregados do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 13, p. 201-214, mar. 1960a.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 21, p. 319-328, abr. 1960b.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 145-154, ago. 1999.

HERNANI, L. C.; SAKAI, E.; ISHIMURA, I.; LEPSCH, I. F. Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP: I. Dinâmica de atributos químicos, físicos e produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 205-213, maio/ago. 1987.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 667-676, out./dez. 1997.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v. 55, n. 1, p. 69-79, 2000.

JACKSON, M. L.; LIM, C. H.; ZELAZNY, L. W. Oxides, hydroxides and aluminosilicates. Section 6-3. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part I – Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 113-118. (Agronomy, v. 9)

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part 1. Madison: ASA, 1965. Cap. 40, p. 511. (Agronomy, v. 9).

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK et al. (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1.* Madison: ASA, 1965. Cap. 39, p. 499-510. (Agronomy, v. 9).

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods.* 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 425-441. (Agronomy Monography, 9)

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857-867, out./dez. 2002.

LEPSCH, I. F.; MENK, J. R. F.; OLIVEIRA, J. B. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*, Wallingford, v. 10, n. 1, p. 34-42, Mar. 1994.

LIMA, W. P. *Impacto ambiental do eucalipto.* 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. *Série Técnica IPEF*, Piracicaba, v. 12, n. 31, p. 53-64, abr. 1998.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 61, n. 1/2, p. 119-130, 2001.

MAHMOUDZADEH, A.; ERSKINE, W. D.; MYERS, C. Sediment yields and soil loss rates from native forest, pasture and cultivated land in Bathurst area, New South Wales. *Australian Forestry*, Collingwood, v. 65, n. 2, p. 73-80, June 2002.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solos de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, jun. 2000.

MARTINS, S. G. *Erosão hídrica em sistemas florestais, nos tabuleiros costeiros da região de Aracruz – ES: primeira aproximação.* Lavras: UFLA, 2001. 59 p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. *Cerne*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 032-041, 2002.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 395-403, maio/jun. 2003.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, Lawrence, v. 7, n. 5, p. 317-327, 1960.

NEVES, C. M. N. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril, no noroeste do Estado de Minas Gerais. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 76, n. 1/3, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de carretas florestais com dois tipos de pneus inflados a diferentes pressões. 1998. 67 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa da região de Lavras (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 7, n. 3, p. 317-322, set./dez. 1983.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 1-9, jan./fev. 2003.

RANDO, E. M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo Distrófico ocasionada pelo cultivo convencional. 1981 161 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, ago.1985.

ROSA, M. E. C.; OLSZVESKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 911-923, set./out. 2003.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992.

SANTOS, D.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CRUZ FILHO, A. B.; TEIXEIRA, W. G. Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 2, p. 183-189, fev. 1998.

SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 53, n. 2, p. 244-246, 1973.

SEIXAS, F. Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 313-350.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. *Scientia Florestalis*, Piracicaba, n. 60, p. 73-87, dez. 2001.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SOUZA, C. R. Efeito da camada de resíduos na compactação do solo causada pelo transporte primário da madeira. *Scientia Florestalis*, Piracicaba, n. 54, p. 9-16, dez. 1998.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; OLIVEIRA, M. S. Perdas de solo por erosão e erodibilidade de cambissolo e latossolo no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: UNESP, SBCS, 2003. CD-ROM.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Till Research*, Amsterdam, v. 44, n. 1/2, p. 81-93, Dec. 1997.

SILVA, C. R.; CAMARGO, F. R. A.; JACOB, W. S.; IJIMA, J. Preparo do solo em áreas acidentadas do Vale do Paraíba do Sul – SP. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). *Conservação e cultivo de solos para plantações florestais*. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 245-258.

SILVA, G. N.; VIDOR, C. As práticas de manejo de solo na população microbiana. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 8, n. 3, p. 291-296, set./dez. 1984.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, n. 1, p. 113-117, jan./mar. 1997.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade de resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão de milho-adubo verde. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BEUTLER, A. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Physical indicators of soil quality on management systems from Cerrado Region in Minas Gerais State, Brazil. In: *INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE*, 10., 1999, West Lafayette. Abstracts... West Lafayette, Indiana: USA, 1999. p. 57.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, dez. 2000.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LEITE, F. P.; NÓBREGA, D. V. C. Tolerância de perdas de solo por erosão hídrica no Vale do Rio Doce na região centro-leste do Estado de Minas Gerais. In: *REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA*, 14., 2002, Cuiabá. *Anais....* Cuiabá: SBCS/UFMT, 2002.

SILVA, R. R. Qualidade do solo em função de diferentes sistemas de manejo na região Campos das Vertentes, Bacia Alto do Rio Grande – MG. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

SMITH, C. M.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. *Geoderma*, Amsterdam, v. 78, n. 1/2, p. 93-111, July 1997.

STAPE, J. L.; ANDRADE, S.; GOMES, A. N.; KREJCI, L. C.; RIBEIRO, J. A. Definição de métodos de preparo de solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 259-296.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8 p. (Série Penetrômetro de Impacto – Boletim, n. 1).

TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. C. R.; HERÑANDEZ, F. F. F.; SAUNDERS, L. C. U.; MOREIRA, E. G. S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 63-66, jan./abr. 1985.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TOGNON, A. A.; DEMATTÊ, J. A. M.; MAZZA, J. A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 271-278, abr./jun. 1997.

VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, jul. 1984.

VITAL, A. R. T.; LIMA, W. P.; CAMARGO, F. R. A. Efeitos do corte raso de plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 5-16, jun. 1999.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, Jan./June 1934.

ANEXOS

		Página
TABELA 1A	Descrição morfológica do perfil do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico estudado (Cenibra, 2001).....	66
TABELA 2A	Resultados analíticos do perfil do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico estudado (Cenibra, 2001).....	67
TABELA 3A	Características químicas e mineralógicas do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 60 cm.....	68
TABELA 4A	Características químicas para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, profundidade de 0 a 20 cm de profundidade	69
TABELA 5A	Densidade de partículas (Dp), argila, silte e fracionamento da fração areia do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob floresta nativa (FN), na profundidade de 0 a 20cm.....	70
TABELA 6A	Resumo das análises de variância para densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), argila dispersa em água (ADA) e índice de floculação (IF), considerando seis sistemas de manejo e quatro repetições.....	70
TABELA 7A	Resumo das análises de variância para matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (Est C) para a profundidade de 0 a 20cm, considerando seis sistemas de manejo e três repetições.	71
TABELA 8A	Resumo das análises de variância para diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2mm (>2mm) considerando seis sistemas de manejo, dois pré-tratamentos da amostra (com e sem pré-umedecimento) e quatro repetições.....	71

TABELA 9A	Umidade gravimétrica no momento do teste de resistência à penetração do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.....	72
TABELA 10A	Classes de resistência do solo à penetração.....	72
TABELA 11A	Resumo das análises de variância para umidade do teste de resistência à penetração (U), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), considerando seis sistemas de manejo, três profundidades de amostragem e três repetições para cada variável analisada.....	73
TABELA 12A	Resumo das análises de variância para o teste de resistência à penetração, considerando seis sistemas de manejo, doze profundidades de amostragem e dez repetições para cada variável analisada.....	73
TABELA 13A	Média dos valores obtidos no teste de resistência à penetração do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.....	74
TABELA 14A	Carbono orgânico (CO) para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.....	75
TABELA 15A	Precipitação (total mensal) e valores de perdas de solo por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.....	76
TABELA 16A	Precipitação (total mensal) e valores de perdas de água por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.....	77
TABELA 17A	Perda de nutrientes por erosão hídrica (resultado de análise química do sedimento coletado em três eventos de coleta de enxurrada).....	78

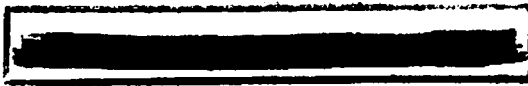


TABELA 1A. Descrição morfológica do LATOSSOLO VERMELHO Ditrófico típico estudado (Cenibra, 2001).

A	0-15 cm	Bruno avermelhado (5YR 3/4); argila pesada; forte pequena média granular; muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição ondulada e gradual.
BA	15-35 cm	Vermelho amarelado (5YR 4/6); argila pesada; moderada média grande blocos; muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição ondulada e gradual.
Bw1	35-102 cm	Vermelho amarelado (5YR 5/6); argila pesada; fraca média blocos que se rompe em grão simples; muito friável, muito plástico e muito pegajoso; transição ondulada e difusa.
Bw2	102 + cm	Vermelho (2,5YR 4/8); argila pesada; fraca grande blocos que se rompe em granular fina; muito friável, muito plástico e muito pegajoso.
Observações:		Micro agregados abundantes, macro e microporos abundantes; raízes finas a médias em todo o perfil.

TABELA 2A. Resultados analíticos do perfil do LATOSSOLO VERMELHO
Distrófico típico estudado (Cenibra, 2001).

Parâmetro	Unidade	Horizonte			
		A	BA	Bw 1	Bw 2
pH H2O		4,680	4,970	5,090	4,700
pH KCl		4,100	4,370	4,470	4,630
ΔpH		-0,580	-0,600	-0,620	-0,070
MO	(dag dm ⁻³)	4,180	2,923	1,890	1,375
P	(mg dm ⁻³)	1,153	0,618	0,462	0,649
K	(mg dm ⁻³)	21,088	12,050	3,013	10,042
Na	(mg dm ⁻³)	3,013	2,008	1,004	1,506
Ca	(cmol _c dm ⁻³)	0,106	0,018	0,033	0,026
Mg	(cmol _c dm ⁻³)	0,179	0,050	0,012	0,005
Al	(cmol _c dm ⁻³)	0,500	0,965	0,685	0,270
H+Al	(cmol _c dm ⁻³)	11,111	6,815	4,829	3,499
Soma Bases	(cmol _c dm ⁻³)	0,352	0,107	0,057	0,064
CTC efet.	(cmol _c dm ⁻³)	0,852	1,072	0,742	0,334
CTC Total	(cmol _c dm ⁻³)	11,463	6,921	4,886	3,563
V	(%)	3,074	1,544	1,174	1,790
m	(%)	58,661	90,031	92,270	80,893
Zn	(mg dm ⁻³)	0,272	0,130	0,196	0,097
Cu	(mg dm ⁻³)	0,213	0,237	0,325	0,210
Fe	(mg dm ⁻³)	67,786	62,278	40,205	14,342
Mn	(mg dm ⁻³)	2,115	1,707	1,740	0,806
Dp	(g cm ⁻³)	2,558	-	2,674	-
Ds	(g cm ⁻³)	1,020	-	0,956	-
Porosidade	(m ³ m ⁻³)	0,6012	-	64,258	-
Areia Grossa	(g kg ⁻¹)	241,33	16,890	12,023	12,873
Areia Fina	(g kg ⁻¹)	108,11	10,589	9,700	9,544
Silte	(g kg ⁻¹)	45,96	6,414	5,648	7,262
Argila	(g kg ⁻¹)	604,61	66,107	72,628	70,322
P-rem.	(mg L ⁻¹)	6,976	2,755	2,361	1,584
Silte/Argila		0,076	0,097	0,078	0,103
SiO ₂	(g kg ⁻¹)	209,79	-	12,42	-
P ₂ O ₅	(g kg ⁻¹)	00,35	-	0,08	-
Fe ₂ O ₃	(g kg ⁻¹)	44,1	-	88,1	-
Al ₂ O ₃	(g kg ⁻¹)	255,06	-	26,54	-
MnO	(μg g ⁻¹)	22,467	-	63	-
K (Total)	(μg g ⁻¹)	0,096	-	-	-
Ca (Total)	(μg g ⁻¹)	185,532	-	-	-
Mg (Total)	(μg g ⁻¹)	277,595	-	-	-
Zn (Total)	(μg g ⁻¹)	72,325	-	-	-
Cu (Total)	(μg g ⁻¹)	14,000	-	-	-
Ki		1,40	-	0,8	-
Kr		1,26	-	0,7	-

TABELA 3A. Características químicas e mineralógicas do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob floresta nativa, na profundidade de 0 a 60 cm.

Parâmetro	Unidade	Profundidade		
		0-20cm	20-40cm	40-60cm
Fe _o ¹	(g kg ⁻¹)	4,48	4,10	3,80
Fe _d ²	(g kg ⁻¹)	51,7	48,9	49,2
Ct ²	(g kg ⁻¹)	364,3	299,2	301,7
Gb ²	(g kg ⁻¹)	162,5	144,4	173,1
Gb/(Ct+Gb) ²	(g kg ⁻¹)	0,309	0,326	0,365
pH ³		4,3	4,3	4,2
MO ³	(dag dm ⁻³)	5,6	4,6	4,6
P ³	(mg dm ⁻³)	1,4	1,9	1,9
K ³	(mg dm ⁻³)	41	36	31
P-rem ⁴	(Mg L ⁻¹)	6,5	7,0	6,0
Ca ³	(cmol _c dm ⁻³)	0,5	0,5	0,3
Mg ³	(cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,2	0,1
Al ³	(cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,7	0,8
H + Al ³	(cmol _c dm ⁻³)	13,7	12,3	12,3
SB ³	(cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,8	0,5
t ³	(cmol _c dm ⁻³)	1,6	1,5	1,3
T ³	(cmol _c dm ⁻³)	14,5	13,1	12,8
V ³	(%)	5,5	6,0	3,8
m ³	(%)	50	47	63
Zn ³	(mg dm ⁻³)	1,7	1,3	1,3
Fe ³	(mg dm ⁻³)	175,3	209,4	171,4
Mn ³	(mg dm ⁻³)	14,8	12,7	9,1
Cu ³	(mg dm ⁻³)	1,2	1,3	1,5
B ³	(mg dm ⁻³)	0,3	0,4	0,4
S ³	(mg dm ⁻³)	10,3	14,3	12,3

⁽¹⁾Fe_o = ferro extraído pelo oxalato ácido de amônio (Schwertmann, 1973; Jackson, Lim & Zelazny, 1986). ⁽²⁾Fe_d = ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio; Ct = caulinita; Gb = gibsita (Mehra & Jackson, 1960). ⁽³⁾pH = pH em água; MO = matéria orgânica; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; H+Al = acidez potencial; SB = soma de bases (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); t = capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (t = SB + Al³⁺); T = CTC a pH 7,0 (T = SB + (H + Al)); V = saturação por bases (V = 100 SB/T); m = saturação por alumínio (m = 100 Al³⁺/t); Zn = zinco; Fe = ferro; Mn = manganês; Cu = cobre; B = boro; S = enxofre (Embrapa, 1997). ⁽⁴⁾P-rem = P remanescente (Alvarez et al, 2000).

TABELA 4A. Características químicas para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 20 cm.

Parâmetro ¹	Unidade	Sistema ²					
		FN	PN	SD	EDq	ED	EN
MO	(dag dm ⁻³)	6,32	4,56	4,59	4,44	5,81	5,49
pH		4,33	4,59	4,34	4,66	4,37	4,44
P	(mg dm ⁻³)	3,08	1,38	2,79	3,74	3,83	3,11
K	(mg dm ⁻³)	56,50	45,67	39,00	37,17	51,17	40,00
Ca	(cmol _c dm ⁻³)	0,51	0,31	0,84	1,54	0,92	0,93
Mg	(cmol _c dm ⁻³)	0,18	0,16	0,22	0,34	0,35	0,27
Al	(cmol _c dm ⁻³)	1,79	1,78	1,49	1,00	1,50	1,53
SB	(cmol _c dm ⁻³)	0,84	0,59	1,15	1,98	1,41	1,30
t	(cmol _c dm ⁻³)	2,63	2,36	2,64	2,99	2,91	2,83
m	(%)	68,12	75,04	60,23	44,10	55,61	64,33
Zn	(mg dm ⁻³)	0,54	0,36	0,37	0,48	0,44	0,36
Cu	(mg dm ⁻³)	0,57	0,81	0,49	0,21	0,20	0,14
Fe	(mg dm ⁻³)	150,4	95,99	124,5	98,36	91,38	75,48
Mn	(mg dm ⁻³)	8,07	5,10	6,40	9,91	13,88	9,16

¹ MO = matéria orgânica; pH = pH em água; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio trocável; SB = soma de bases (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); t = capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva (t = SB + Al³⁺); m = saturação por alumínio (m = 100 Al³⁺/t); Zn = zinco; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês (Embrapa, 1997).

² FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.

TABELA 5A. Densidade de partículas (Dp), argila, silte e fracionamento da fração areia do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob floresta nativa (FN), na profundidade de 0 a 20cm.

Sistema	Dp kg dm ⁻³	Argila	Silte	Areia				
				AMG ¹	AG ¹	AM ¹	AF ¹	AMF ¹
				.....g kg ⁻¹				
FN ²	2,39	589	101	17	69	106	101	17

¹AMG: areia muito grossa (2-1mm de diâmetro); AG: areia grossa (1-0,5mm de diâmetro); AM: areia média (0,5-0,25mm de diâmetro); AF: areia fina (0,25-0,10mm de diâmetro); AMF: areia muito fina (0,10-0,05mm de diâmetro), segundo Sistema de Classificação Norte-Americano (USDA). ²FN: solo sob floresta nativa.

TABELA 6A. Resumo das análises de variância para densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), argila dispersa em água (ADA) e índice de floculação (IF) considerando seis sistemas de manejo e quatro repetições.

FV	GL	QM					
		Ds	VTP	Micro	Macro	ADA	IF
Sistema	5	0,0639*	101,78*	0,0025*	0,0217*	3,3846*	10,897*
Erro (Geral)	18	0,0065	17,329	0,0004	0,00320	1,1165	3,3970
Total	23						
CV (%)		7,31	7,45	5,15	29,44	25,88	1,98

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

^{NS} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 7A. Resumo das análises de variância para matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e estoque de carbono (Est C) para a profundidade de 0 a 20cm, considerando seis sistemas de manejo e três repetições.

FV	GL	QM		
		MO	CO	Est C
Sistema	5	1,841466 ^{NS}	61,958212 ^{NS}	193,204165 ^{NS}
Erro (Geral)	12	0,891237	29,985516	126,896432
Total	17			
CV (%)		18,14	18,14	17,03

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

^{NS} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 8A. Resumo das análises de variância para diâmetro médio geométrico (DMG) e porcentagem de agregados maiores que 2mm (>2mm) considerando seis sistemas de manejo, dois pré-tratamentos da amostra (com e sem pré-umedecimento) e quatro repetições.

FV	GL	QM			
		DMG		>2mm	
		Com	Sem	Com	Sem
Sistema	5	0,028242*	0,1347027*	0,1727019*	304,722725*
Erro (Geral)	18	0,007928	0,235623	0,467355	52,080823
Total	23				
CV (%)		1,83	12,17	0,69	8,21

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

^{NS} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 9A. Umidade gravimétrica no momento do teste de resistência à penetração do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.

Sistema ¹	Umidade gravimétrica (%)			Média
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
FN	25,31	26,80	26,62	26,24 a
PN	19,21	23,84	25,60	22,88 b
SD	20,10	23,89	28,24	24,08 ab
EDq	20,13	21,81	25,35	22,43 b
ED	22,72	25,85	27,72	25,43 ab
EN	22,30	26,63	27,39	24,44 ab
Média	21,63 c	24,80 b	26,82 a	
CV Sistema (%)		8,34		
CV Geral (%)		8,03		

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A interação sistema x profundidade foi significativa somente na segunda época de avaliação.

TABELA 10A. Classes de resistência do solo à penetração.

Classe	Resistência à penetração (MPa)
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1
Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

FONTE: Soil Survey Staff (1993) citado por Arshad, Lowery & Grossman (1996).

TABELA 11A. Resumo das análises de variância para umidade do teste de resistência à penetração (U), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO), considerando seis sistemas de manejo, três profundidades de amostragem e três repetições para cada variável analisada.

FV	GL	QM		
		U	MO	CO
Sistema	5	21,27219*	2,679215 ^{NS}	90,14622 ^{NS}
Erro = rep (Sistema)	12	4,144724	1,243367	41,832047
Profundidade	2	123,40002*	33,19215*	1114,678*
Sistema x Profundidade	10	4,833291 ^{NS}	0,503661*	16,95055*
Erro (Geral)	24	3,845572	0,213710	7,190273
Total	53			
CV Sistema (%)		8,34	29,39	29,39
CV Geral (%)		8,03	12,18	12,18

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

^{NS} não significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 12A. Resumo das análises de variância para o teste de resistência à penetração, considerando seis sistemas de manejo, doze profundidades de amostragem e dez repetições para cada variável analisada.

FV	GL	QM
Sistema	5	61,18*
Erro = rep (Sistema)	54	11,00
Profundidade	11	23,12*
Sistema x Profundidade	55	8,14*
Erro (Geral)	594	1,13
Total		
CV Sistema (%)		95,00
CV Geral (%)		30,52

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey..

TABELA 13A. Média dos valores obtidos no teste de resistência à penetração do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.

Prof (cm)	FN	PN	SD	EDq	ED	EN	Média
	.....MPa.....						
2,5	0,86	1,59	2,79	1,55	2,02	1,68	1,75 d
7,5	0,86	3,00	6,30	3,68	3,84	3,65	3,56 bc
12,5	1,00	3,35	6,29	5,50	4,46	4,84	4,24 a
17,5	1,18	3,07	6,05	5,45	3,96	4,91	4,10 ab
22,5	1,49	2,99	5,42	4,96	3,74	4,61	3,87 abc
27,5	2,16	2,88	4,97	4,37	3,36	4,29	3,67 abc
32,5	3,12	2,74	4,38	4,43	3,02	3,87	3,60 bc
37,5	3,80	2,93	3,83	3,70	3,17	3,58	3,50 bc
42,5	3,96	2,80	3,74	4,18	3,24	3,39	3,55 bc
47,5	3,97	3,03	3,72	3,48	3,16	2,97	3,39 c
52,5	3,99	3,07	3,46	3,17	3,10	2,84	3,27 c
57,5	4,70	2,30	3,37	3,37	3,14	2,76	3,39 c
Média	2,59 c	2,87 bc	4,53 a	3,99 ab	3,35 abc	3,61 abc	
CV Sistema (%)	95,00						
CV Geral (%)	30,52						

FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Apesar da interação Sistema x Profundidade ser significativa pelo teste F a 5%, não foram realizados os desdobramentos.

TABELA 14A. Carbono orgânico (CO) para o LATOSSOLO VERMELHO Ditrófico típico sob diferentes sistemas de manejo, na profundidade de 0 a 60cm.

Sistema ¹	Carbono orgânico (g kg ⁻¹)			Média
	0-20cm	20-40cm	40-60cm	
FN	36,69 A a	25,44 A b	18,75 A c	26,91 A
PN	26,44 A a	22,80 A ab	18,90 A b	22,72 A
SD	26,65 A a	17,46 A b	1053 A c	18,21 A
EDq	25,79 A a	18,62 A b	12,40 A c	18,94 A
ED	33,70 A a	22,25 A b	13,39 A c	23,12 A
EN	31,86 A a	21,46 A b	12,95 A c	22,10 A
Média	30,19 a	21,34 b	14,14 c	
CV Sistema (%)		29,39		
CV Geral (%)		12,18		

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. A interação sistema x profundidade foi significativa somente na segunda época.

TABELA 15A. Precipitação (total mensal) e valores de perdas de solo por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.

ANO	MÊS	PP ¹	PERDA DE SOLO (Mg ha ⁻¹)					
			FN	PN	SD	EDq	ED	EN
2002	Out	51,56	0,0000	0,0000	0,0018	0,0067	0,0039	0,0013
	Nov	151,63	0,0000	0,0101	0,0045	0,0000	0,0000	0,0002
	Dez	320,03	0,0010	0,0026	0,0023	0,0015	0,0015	0,0002
2003	Jan	268,48	0,0011	0,0109	0,2904	0,0353	0,0832	0,0995
	Fev	37,84	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mar	103,13	0,0000	0,0000	0,0111	0,0025	0,0005	0,0024
	Abr	36,58	0,0083	0,0007	0,0014	0,0011	0,0002	0,0012
	Mai	9,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jun	0,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jul	2,29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ago	25,15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Set	13,97	0,0001	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0001
	Out	129,81	0,0001	0,0046	0,0005	0,0014	0,0017	0,0009
	Nov	159,26	0,0000	0,0002	0,0007	0,0004	0,0011	0,0001
	Dez	293,63	0,0000	0,3829	1,4568	0,0137	0,0055	0,0098
TOTAL		1602,76	0,01	0,41	1,77	0,06	0,10	0,12

⁽¹⁾ Precipitação pluviométrica mensal, em mm, para o período estudado.

TABELA 16A. Precipitação (total mensal) e valores de perdas de água por erosão hídrica para cada sistema de manejo durante o período de 23 de outubro de 2002 a 5 de dezembro de 2003.

ANO	MÊS	PP ¹	PERDA DE ÁGUA (mm)					
			FN	PN	SD	EDq	ED	EN
2002	Out	51,56	0,0000	0,0000	0,2169	0,3305	0,5577	0,1343
	Nov	151,63	0,0001	0,1321	0,0976	0,0055	0,0046	0,0175
	Dez	320,03	0,7228	0,8672	0,4337	0,9138	0,3475	0,2340
2003	Jan	268,48	0,4936	3,6857	13,3735	8,2892	13,3955	6,0505
	Fev	37,84	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Mar	103,13	0,1380	0,0000	1,5181	0,3954	0,5953	0,4078
	Abr	36,58	0,6496	0,5060	0,5060	0,2132	0,3305	0,3423
	Mai	9,14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jun	0,25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Jul	2,29	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Ago	25,15	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Set	13,97	0,0360	0,1980	0,1440	0,0857	0,1509	0,0977
	Out	129,81	0,1620	1,3008	0,0600	0,3923	0,7642	0,4630
	Nov	159,26	0,0000	0,0420	0,1620	0,0754	0,2804	0,0943
	Dez	293,63	0,0420	2,4947	7,1476	0,7642	1,3219	0,7796
TOTAL		1602,76	2,24	9,23	23,66	11,46	17,75	8,62

⁽¹⁾ Precipitação pluviométrica, em mm, para o período estudado.

TABELA 17A. Perda de nutrientes por erosão hídrica (resultado de análise química do sedimento coletado em três eventos de coleta de enxurrada).

Sistema ¹	P	K	Na	Ca	Mg
1º evento (23 de outubro de 2002)					
	.....mg dm ⁻³.....		.....cmol _c dm ⁻³		
FN	-	-	-	-	-
PN	-	-	-	-	-
SD	0,14	55,00	0,15	0,23	0,04
EDq	0,04	46,93	0,05	0,09	0,02
ED	0,03	91,67	0,06	0,10	0,00
EN	0,04	94,78	0,11	0,29	0,06
2º evento (13 de novembro de 2002)					
	.....mg dm ⁻³.....		.....cmol _c dm ⁻³		
FN	-	-	-	-	-
PN	0,04	18,70	0,04	0,10	0,02
SD	0,03	20,53	0,03	0,11	0,02
EDq	0,11	8,07	0,02	0,05	0,01
ED	0,09	9,66	0,01	0,03	0,01
EN	0,03	20,29	0,02	0,06	0,02
3º evento (31 de outubro de 2003)					
	.....mg dm ⁻³.....		.....cmol _c dm ⁻³		
FN	3,01	15,60	69,47	0,63	0,16
PN	0,12	22,40	113,76	1,96	0,39
SD	0,24	26,22	93,70	2,65	0,44
EDq	1,61	13,28	42,15	1,28	0,30
ED	0,82	45,00	166,17	1,50	0,31
EN	1,04	38,07	180,80	1,84	0,45

¹FN: floresta nativa; PN: pastagem nativa; SD: solo descoberto; EDq: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, com queima de restos culturais; ED: eucalipto plantado no sentido do declive do terreno, sem queima de restos culturais; EN: eucalipto plantado em nível, sem queima de restos culturais.