**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis*
em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes
métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba-SP**

Marcos Cesar Passos Wichert

**Dissertação apresentada, para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Silvicultura e Manejo Florestal.**

**Piracicaba
2005**

Marcos Cesar Passos Wichert
Engenheiro Florestal

**Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis*
em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes
métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba-SP**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LUIZ STAPE**

Dissertação apresentada, para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em
Silvicultura e Manejo Florestal.

**Piracicaba
2005**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Wichert, Marcos Cesar Passos

Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo e plantado com *Eucalyptus grandis* no Vale do Paraíba-SP / Marcos Cesar Passos Wichert. - - Piracicaba, 2005.
83 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

1. Erosão 2. Manejo florestal 3. Preparo do solo 4. Silvicultura I. Título

CDD 634.9734

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por guiar meus passos na jornada da existência.

A minha esposa Polyana e minha família pelo apoio emocional e compreensão durante os longos períodos de estudo.

Ao Professor José Luiz Stape, pelos ensinamentos, incentivo e amizade, que contribuíram para minha formação profissional.

Ao Professor José Leonardo de Moraes Gonçalves pelo incentivo, amizade e apoio a este projeto de mestrado.

Ao amigo e colega Cassiano Massakazu Sasaki, pela amizade e auxílio na realização deste trabalho.

Aos colegas de mestrado, Cláudio Roberto Silva, José Marcio Bizon e José Luiz Gava, pelos desafios compartilhados.

Aos coordenadores do PTSM, professores José Leonardo de Moraes Gonçalves e José Luiz Stape, por apoiarem a realização do mestrado juntamente com as atividades do programa.

Aos estagiários do PTSM pelo suporte e auxílio na instalação do experimento e nas coletas de campo; Rodrigo, Gustavo, Cristiane e em especial ao Daniel pela disposição e criatividade que tanto ajudaram na concepção dos equipamentos utilizados no campo.

À VCP Florestal, na pessoa do gerente de pesquisa Walter Sales Jacob, pelo apoio cedendo a área para instalação do projeto e também pelo suporte financeiro, sem o qual não seria possível realizar este projeto.

A equipe de pesquisa da VCP Florestal, em especial ao Cláudio, Dimas e Rogério, pelo suporte e amizade durante a fase de instalação e coleta dos dados.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da ESALQ/USP.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 DESENVOLVIMENTO	12
2.1 Revisão de literatura	12
2.1.1 Métodos de avaliação da perda de solo por erosão hídrica	12
2.1.2 Métodos de preparo de solo e manejo de resíduos.....	14
2.1.3 Efeito de sistemas de cultivo na erosão hídrica.....	17
2.1.4 Efeito da erosão hídrica na perda de nutrientes.....	20
2.1.5 Efeito do preparo de solo no crescimento inicial de florestas plantadas..	21
2.2 Material e métodos	23
2.2.1 Descrição da área experimental	23
2.2.1.1 Localização.....	24
2.2.1.2 Clima e precipitação pluviométrica	24
2.2.1.3 Geologia, topografia e vegetação.....	27
2.2.1.4 Solos e análises.....	28
2.2.2 Descrição do delineamento experimental.....	30
2.2.2.1 Tratamentos experimentais.....	30
2.2.2.2 Avaliação dos resíduos da colheita.....	32
2.2.2.3 Volume mobilizado de solo.....	33

2.2.3	Estimativa da erosão nas parcelas	35
2.2.3.1	Método dos pinos	35
2.2.3.2	Equação de perda de solo baseado nos pinos.....	37
2.2.3.3	Método da parcela padrão.....	37
2.2.3.4	Relação entre erosão medida e as variáveis das parcelas	38
2.2.4	Avaliação do desenvolvimento inicial do eucalipto	40
2.2.4.1	Índice de copa	41
2.2.4.2	Biomassa da parte aérea	41
2.2.5	Estimativa da perda de nutrientes por erosão	42
2.2.6	Balanço nutricional no primeiro ano de cultivo do eucalipto	43
2.2.7	Análise estatística	44
2.3	Resultados e discussão	44
2.3.1	Efetividade dos métodos de preparo de solo utilizados	44
2.3.1.1	Volume mobilizado de solo.....	44
2.3.2	Erosão observada pelo método da parcela padrão	46
2.3.3	Equações de estimativa da erosão	52
2.3.3.1	Correlação de Pearson	52
2.3.3.2	Equação preditiva da erosão por período, modelo por período	53
2.3.3.3	Equação preditiva da erosão por período, modelo global	54
2.3.3.4	Comparação entre valores observados de erosão e estimados pelos modelos preditivos	55

2.3.4	Erosão estimada por tratamento	57
2.3.5	Dendrometria do <i>Eucalyptus</i>	59
2.3.5.1	Desenvolvimento inicial	59
2.3.6	Relação entre erosão e desenvolvimento inicial do eucalipto	64
2.3.7	Estimativa da perda de nutrientes por erosão	65
2.3.8	Balanço nutricional para o primeiro ano	67
3	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS	73

RESUMO

Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba-SP

No Brasil, e especialmente no estado de São Paulo na região do Vale do Paraíba, a silvicultura com o cultivo do eucalipto está se expandindo para as áreas declivosas, ocupadas com pastagens degradadas, devido ao limitado valor agropecuário destas topografias e sua maior aptidão florestal. Tais áreas estão naturalmente mais sujeitas à erosão hídrica, a qual reduz a produtividade florestal e impacta os cursos da água. Desta forma, os métodos de preparo de solo devem ser criteriosamente definidos para possibilitar o adequado crescimento inicial das florestas concomitantemente à conservação do solo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes métodos de preparo de solo sobre as perdas de solo e água, por erosão, e sobre o desenvolvimento inicial de plantio clonal, de *E. grandis*, em áreas declivosas. O ensaio foi instalado num delineamento fatorial 3x2, com três intensidades de preparo (coveamento manual, coveamento mecânico e subsolagem a favor do declive) e dois sistemas de manejo de resíduos de colheita (com e sem resíduos), com 4 repetições, num Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (textura média/argilosa), com declividade média de 21%, no município de Igaratá-SP. A perda de solo e o crescimento da floresta foram avaliados durante 1 ano, entre março de 2004 e fevereiro de 2005. Em dois tratamentos, o com coveamento manual e manutenção dos resíduos (MAC) e na subsolagem sem resíduos (SUS), a erosão foi medida diretamente através do método da parcela padrão, instaladas em todas as repetições, e com dimensões de 14x24 metros. Uma parcela padrão adicional, sem preparo e sem resíduos, foi também instalada. As erosões mensuradas foram agrupadas e analisadas em três períodos (0 a 2, 3 a 7, e 8 a 12 meses). Para os demais tratamentos, a erosão foi estimada por modelos (chamados de por período e global) gerados por regressões lineares múltiplas entre a erosão observada nas parcelas padrão dos tratamentos MAC e SUS, e variáveis independentes oriundas dos atributos locais de cada parcela e das medições de 15 pinos nelas instalados. O solo e a água erodidos e coletados nas parcelas padrão foram analisados quimicamente para quantificar os macronutrientes perdidos. O crescimento inicial do eucalipto foi determinado estimando-se a cobertura do solo e a biomassa da parte aérea aos 3, 6, 9 e 12 meses. Para as parcelas padrão, houve maior erosão no tratamento SUS do que no MAC ($P=0.07$), com valores médios de 12,9 e 2,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, e para ambos houve significativa redução da erosão com o desenvolvimento da floresta, o que não ocorreu na parcela testemunha. Os modelos preditivos de erosão só retiveram a variável dos pinos para os 2 primeiros períodos, quando as erosões foram maiores. Para o terceiro período e para o modelo global, apenas variáveis locais foram retidas: volume de solo mobilizado, cobertura do solo e teor de argila. Ambos modelos apresentaram a mesma tendência de estimar maior erosão no tratamento com subsolagem, o qual também obteve, um pequeno ganho de crescimento ao final do primeiro ano (9%). Em termos de resíduos, sua presença reduziu levemente o crescimento (9%). A maior parte da perda de nutrientes, 60%, ocorreu no solo erodido, e suplantam a entrada de nutrientes via chuva, porém são muito inferiores à exportação pela remoção dos resíduos florestais. Assim, ponderando-se os ganhos de crescimento inicial e as perdas erosivas esperadas, identifica-se para o sítio como melhor opção a manutenção dos resíduos com o uso de coveamento mecânico.

Palavras-chave: Conservação do solo; Preparo de solo; Silvicultura; Áreas declivosas

ABSTRACT

Hydric erosion and initial development of the *Eucalyptus grandis* in a Red-Yellow Argisol submitted to different methods of soil preparation in the “Vale do Paraíba-SP” region

In Brazil, and especially in the state of São Paulo in the “Vale do Paraíba” region, eucalypt plantation is expanding to high declivity areas occupied with degraded pastures due to the limited agricultural value of these topographies and its greatest forest aptitude. Such areas are naturally more susceptible to the hydric erosion, which reduces the forest productivity and causes impacts in creeks and lakes. Therefore, the methods of soil preparation should be carefully defined to improve the initial growth of the forests together with soil conservation. Thus, this study had the objective to evaluate the effect of different methods of soil preparation on the soil and water losses by erosion, and on the initial development of *E. grandis*, clone, in steep areas. The experiment was installed in a 3 x 2 factorial design, with three intensities of soil preparation (manual pitting, mechanical pitting and downhill subsoiling) and two systems of residues management (with and without harvesting residues), with 4 blocks, in a Red-Yellow Argisol dystrophic (medium/clayey texture), with an average declivity of 20,3%, in Igaratá-SP. The soil loss and the growth of the forest were followed during 1 year, between March of 2004 and February of 2005. In two treatments, manual pit and maintenance of the residues (MAC) and in the subsoiling without residues (SUS), the erosion was measured directly through the method of the standart plots, installed in all the repetitions, and with 14 x 24 meters dimensions. An additional standard plot without soil preparation and residues was also installed. The erosion data was grouped and analyzed in three periods (0 to 2, 3 to 7, and 8 to 12 months). For the other treatments, the erosion was estimated using models (named per period and global) from multiple linear regressions between the erosion observed in the treatments MAC and SUS, and independent variables originated from local attributes of each plot and from the measurement of 15 pins installed inside the plots. The soil and the water eroded, collected in the standard plots were chemically analyzed to quantify the lost of macronutrients. The initial growth of the eucalypt was determined estimating soil coverage and aboveground biomass at the 3, 6, 9 and 12 months. For the standard-plots, there was larger erosion in the treatment SUS than in MAC ($P=0.07$), with average values of 12.9 and 2.4 Mg ha⁻¹ year⁻¹, respectively. For both treatments, the erosion was reduced with the growth of the forest. The erosion models only retained the variable of the pins for the first 2 periods, when erosions were larger. For the third period and for the global model, just local variables were retained: volume of prepared soil, soil coverage and clay content. Both models presented the same trend of predicting larger erosion in the treatment with subsoiling, which also obtained a small growth gain at the end of the first year (9%). For the residues, its maintenance in the area reduced the growth slightly (9%), similar to the mechanical pittty. Most of the loss of nutrients, 60%, were in the eroded soil, and this amount was larger than the rainfall inputs, but much smaller than the exportation by removing the forest residues. Thus, pondering the gains of initial growth and the expected erosion losses, the maintenance of the residues in the site together with the use of mechanical pitting can be identified as the best soil preparation option for these areas.

Keywords: Soil conservation, Soil preparation; Silviculture; High declivity areas

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, e particularmente no estado de São Paulo na região do Vale do Paraíba, a eucaliptocultura está se expandindo em terrenos declivosos, ocupados com pastagens degradadas, devido ao limitado valor agropecuário destas áreas e sua maior aptidão florestal (BRASIL, 1979; BERTOLINE; NETO, 1994; SILVA et al., 2002). Esta região concentra cerca de 10% dos reflorestamentos do estado de São Paulo, com mais de 75.000 ha (KRONKA et al., 2003).

A fragilidade destes ecossistemas do Vale do Paraíba, sistematicamente degradados por atividades agrícolas (cafeicultura) e pastoris, implica na necessidade de um cuidadoso planejamento da implantação florestal, face ao seu grande risco erosivo, notadamente no período compreendido entre o plantio e o fechamento da copa (LIMA, 1996; GONÇALVES, 2002b).

A erosão hídrica é um problema de magnitude mundial. Segundo estimativas da FAO, 140 milhões de ha de solo de alta qualidade estarão degradados no ano 2010, a não ser que sejam adotadas melhores práticas de manejo do solo (ESTADOS UNIDOS, 2001). Esta erosão reduz a produtividade dos solos e promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática (MARTINS et al., 2003).

São Paulo (1995 apud Souza, 2000) estima que o estado de São Paulo perde anualmente cerca de 194 milhões de toneladas de solos férteis devido à erosão (cerca de $7,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Deste total, aproximadamente 40 milhões de toneladas vão para rios e lagos, causando danos ao meio ambiente. Este valor representa uma remoção de 10 cm de solo em uma área de 200.000 ha, contabilizando uma perda anual de cerca de 200 milhões de dólares em termos de nutrientes.

Grande parte desta perda elevada de solo se deve ao mau manejo do solo, em termos de práticas de preparo inadequadas e também à má locação e manutenção da

malha viária nas propriedades agrícolas. As práticas conservacionistas do solo, como o plantio direto na agricultura e o cultivo mínimo na silvicultura, têm contribuído para a diminuição dessas altas taxas erosivas (LIMA, 1996; GONÇALVES, 2002b).

O risco de erosão hídrica aumenta em áreas declivosas, e por este motivo e pela dificuldade em mecanizar a operação de preparo de solo nestes locais, o coveamento manual, com enxada, tem sido o preparo mais utilizado. No entanto, esta operação tem baixo rendimento operacional e alto custo de mão de obra, além de preparar um volume de solo limitado (SILVA et al., 2002).

O preparo do solo busca desagregar o solo, diminuindo assim a sua resistência, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular das árvores (FERNANDES; SOUZA, 2001; STAPE et al., 2002a). De forma geral há uma relação positiva entre o volume de solo preparado e o ritmo de crescimento das plantas (SUITER et al., 1980; FINGER et al., 1996; GONÇALVES et al., 2002b). Contudo, com o aumento da intensidade de preparo também há um aumento do potencial de perda erosiva do solo, em especial nas áreas mais declivosas.

Poucos estudos foram feitos na silvicultura brasileira para compreender melhor as relações entre a intensidade de preparo do solo, o crescimento da floresta plantada e as taxas erosivas em áreas declivosas (LIMA, 1988, 1996), havendo assim a necessidade de trabalhos que conjuguem estes fatores nestas condições.

Os estudos mais rigorosos de avaliação das taxas erosivas utilizam sistemas de coleta do solo e da água erodidos de uma área retangular delimitada, a chamada parcela padrão. Este método é usado na agricultura brasileira desde 1950 (MARQUES et al., 1954), contudo sua utilização em silvicultura é mais recente, sendo o primeiro estudo desenvolvido por Lima (1988). No entanto, face ao seu elevado custo, não são geralmente utilizadas repetições experimentais, instalando-se apenas uma parcela por uso do solo ou manejo testado.

Desta forma, para melhor compreender a relação entre a intensidade de preparo do solo, as taxas erosivas e o crescimento da floresta plantada, em áreas declivosas, foi conduzido um ensaio utilizando o método das parcelas padrão e do pino no município de Igaratá, no Vale do Paraíba-SP. O delinamento experimental consistiu de um fatorial 3 x 2, com 3 intensidades de preparo do solo (coveamento manual, coveamento mecânico e subsolagem a favor do declive), e 2 sistemas de manejo de resíduos da colheita (sem resíduos, e com manutenção dos resíduos), conduzindo o estudo até o fechamento do dossel.

O estudo buscou identificar e quantificar o efeito dos métodos de preparo de solo e manejo de resíduos da colheita sobre a erosão hídrica (sustentabilidade) e o desenvolvimento inicial da floresta (produtividade), tendo os seguintes objetivos:

1. Avaliar o efeito de diferentes métodos de preparo na perda de solo e água por erosão hídrica;
2. Avaliar o efeito destes métodos de preparo de solo no desenvolvimento inicial do *E. grandis*; e
3. Identificar a existência de um preparo de solo que possibilite o adequado desenvolvimento inicial da floresta, sem comprometer a sua conservação.

Assim, acompanhou-se o crescimento da floresta e as as perdas de solo e água por erosão hídrica durante o primeiro ano, testando-se as seguintes hipóteses:

- i. O preparo mais intensivo do solo aumenta a erosão;
- ii. O preparo mais intensivo de solo favorece o crescimento inicial do *E. grandis*;
- iii. A manutenção dos resíduos florestais diminui a erosão; e
- iv. Há um preparo mais intensivo do solo, com manutenção de resíduos, que aumenta o crescimento sem aumentar a erosão.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão de literatura

2.1.1 Métodos de avaliação da perda de solo por erosão hídrica

A erosão do solo representa a quantidade de solo perdido em uma área de terra num período específico de tempo, sendo expressa em Mg ha^{-1} . A determinação da perda de solo é de interesse para avaliar os efeitos causados no sítio pela erosão, como a perda da produtividade para o cultivo, e os efeitos das práticas conservacionistas adotadas (NEARING et al., 1988).

A erosão, em escala geológica, é um processo natural que está relacionado com a própria formação dos solos (McEVOY, 1989). No entanto, na escala de tempo humana, a erosão é indesejável por reduzir a produção agrícola e florestal, causar sedimentação nos cursos d'água, degradando a qualidade das microbacias (KIDD; MEGAHAN, 1972; MEGAHAN, 1977; GREY, 1988; FAO, 1989; MACHADO; SOUZA, 2000; GRACE III et al., 1996; VITAL, 1996).

Segundo Ramakrishna e Davidson (1998) e Powers et al. (1998 apud MARTINS, 2003), a erosão hídrica é um dos critérios que deve ser analisado quando se quer avaliar a sustentabilidade do uso do solo cultivado com florestas plantadas. Para Martins et al. (2003), a quebra dos agregados do solo com o impacto direto das gotas de chuva, e o escoamento superficial do excesso de água são os agentes ativos, e o solo, o agente passivo no processo de erosão hídrica. A variação das classes de solos com seus atributos diferenciados e a variabilidade climática, além do manejo utilizado, é que irão determinar a resistência do solo à erosão hídrica.

A pesquisa sobre erosão é, em geral, um processo de alto custo e que necessita de muitos anos de estudo para gerar resultados que auxiliem na correta compreensão da dinâmica do processo erosivo no local de estudo (LAL, 1988). Como

as classes de solo e o clima variam muito de região para região, a extrapolação de resultados de estudos pontuais para escalas maiores deve ser feita de forma cuidadosa, e para tanto há necessidade de utilizar métodos padronizados de pesquisa facilitando a comparação dos resultados para diferentes condições edafoclimáticas. Idealmente, deve-se ter repetições dos delineamentos experimentais para captar as variabilidades existentes no próprio local de estudo (LAL, 1988).

Para avaliar as perdas de solo no campo, por erosão hídrica, os métodos mais utilizados são o método da parcela padrão e o método dos pinos.

No método da parcela padrão, uma área retangular é delimitada, normalmente utilizando chapas metálicas, no sentido do maior declive do terreno, tendo na parte inferior uma calha para direcionar a erosão para tanques de sedimentação e de coleta de água onde são feitas as mensurações da quantidade de solo erodido e do escoamento superficial. Este método permite que seja feita também uma análise qualitativa da erosão através da análise química do material retido nos tanques coletores (solo e água). Diversos autores utilizaram este método na área agrícola (MORGAN, 1986; COGO et al., 2003; VOLK et al., 2004) e mais recentemente também na área florestal, em plantios florestais (LIMA, 1988; SILVA, 1998; MARTINS et al., 2003; BRITO, 2004; FERNÁNDEZ et al., 2004; MARTINS, 2005).

O método da parcela padrão é um método caro e de difícil implementação, sendo normalmente utilizada a instalação de uma caixa por tipo de uso do solo e por classe de solo, sendo considerada como fator repetição os eventos de precipitação, mas sem replicação no espaço. É, portanto, um método de pouca mobilidade, pois não pode ser facilmente transferido de uma área para outra e é necessário que o local onde a parcela for instalada seja representativo da realidade da região em termos de classe de solo e de regime hídrico (VEIGA, 1993).

Devido ao alto custo do método da parcela padrão e da pouca mobilidade e praticidade operacional do mesmo, foi desenvolvido um método mais simples de

medição direta da erosão hídrica que é o método dos pinos metálicos (VERDOLIN et al., 1980; SANTOS, 1993; BONO, 1994). Os pinos são distribuídos de forma sistemática no terreno e a avaliação da perda ou acúmulo de solo é mensurada diretamente sobre eles. Este é um método que permite analisar a perda de solo em áreas maiores, e possibilita também a realização de repetições das parcelas experimentais.

A maior parte dos estudos com o método do pino foi realizado na área agrícola (MARQUES, 1951; GLEASON, 1957; MEXICO, 1977; VERDOLIN et al., 1980; BERTONI; NETO, 1990; SANTOS, 1993; BONO, 1994), e mais recentemente em plantios florestais (ALARCÓN, 1990; CARDOSO, 2003). Usualmente, os estudos utilizam o método da parcela padrão para comparar e correlacionar a erosão estimada pelos pinos com a erosão mensurada na parcela padrão. Alguns trabalhos têm demonstrado que o método dos pinos, utilizando a média da mudança de superfície, superestima os valores de erosão quando comparados com o método da parcela padrão em um mesmo local, e Cardoso (2003) utilizando um modelo matemático proposto em seu estudo, observou que o resultado da estimativa de erosão por este modelo subestimou os valores da parcela padrão.

2.1.2 Métodos de preparo de solo e manejo de resíduos

O preparo de solo afeta o crescimento florestal e sua produtividade final por atuar diretamente sobre os fatores físicos, químicos e biológicos do solo, e a comunidade infestante, alterando a disponibilidade de recursos hídricos e nutricionais às plantas (SUITER et al., 1980; CASTRO, 1994; GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES et al., 2002a). Concomitantemente, o preparo afeta a conservação de solo, podendo aumentar as perdas erosivas de valores praticamente nulos até valores acima da tolerância aceitável de erosão para aquele determinado solo, reduzindo assim o seu potencial produtivo no longo prazo (BERTONI et al., 1985; HERNANI et al., 1987; GONÇALVES et al., 2000).

Quanto aos atributos físicos do solo, o preparo visa a sua desagregação do solo, diminuindo a resistência, e facilitando o desenvolvimento do sistema radicular das árvores que passam a explorar maior volume de solo, aumentando sua absorção de água e nutrientes (LETEY, 1985; SCHUMACHER, 1995; FINGER et al., 1996; FERNANDES; SOUZA 2001; STAPE et al., 2002a). Esta desagregação pode se dar de forma localizada na cova, linear através de preparos com sulcadores, subsoladores ou grades terraceadoras, ou em área total com uso de grades e arados (SASAKI, 2000; GONÇALVES et al., 2002a; STAPE et al., 2002a). O volume de solo preparado em cada sistema é dependente da profundidade e das características do solo durante o preparo (STAPE et al., 2002a; SOUZA, 2002).

Em geral, há uma relação positiva entre o volume de solo preparado e o ritmo de crescimento das plantas (POYNTON, 1965; SUITER et al., 1980; FINGER, 1991; FINGER et al., 1996; GONÇALVES et al., 2002b). No entanto, o potencial de perda erosiva do solo eleva-se com este grau de preparo, podendo fragilizar a sua produção no longo prazo, havendo algumas vezes uma relação inversa entre o ritmo de crescimento inicial das plantas e a conservação de solo (POYNTON, 1965).

Do ponto de vista químico, o preparo de solo acelera os níveis de mineralização dos nutrientes contidos nos resíduos florestais e na própria matéria orgânica do solo (CASTRO, 1988), podendo aumentar, dependendo de sua intensidade, as perdas de nutrientes. Assim, preparos que envolvem a queima de resíduos induzem uma grande perda de nutrientes por volatilização, oxidação e erosão eólica ou hídrica, ao mesmo tempo em que promovem a rápida liberação de nutrientes ao solo (MALUF, 1991; GONÇALVES et al., 1997; GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES et al., 2002b). Tais taxas iniciais de mineralização são favoráveis ao crescimento inicial das florestas (GONÇALVES et al., 1997; STAPE et al., 2002b), mas evidentemente representam sistemas mais impactantes em termos de perdas nutricionais e erosivas, face à exposição do solo, podendo comprometer a sustentabilidade do sistema (HERNANI et al., 1987; MacNABB et al., 1989;

GONÇALVES et al., 1997; GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES et al., 2002b). Novamente, observa-se uma relação inversa entre crescimento inicial e conservação.

Do ponto de vista biológico, a manutenção dos resíduos florestais reduz a variação da temperatura na camada superficial do solo e auxilia na manutenção da sua umidade, permitindo melhores condições para as atividades biológicas do solo e a decomposição da matéria orgânica dos resíduos. Desta forma, há um incremento das taxas de liberação dos nutrientes contidos na biomassa para a ciclagem biogeoquímica de nutrientes dentro do ecossistema (GONÇALVES et al., 2002a). Os resíduos sobre o solo também atuam como barreiras físicas ao impacto das gotas da chuva e ao escoamento superficial diminuindo assim a erosão hídrica. Sistemas intensivos de preparo de solo e a queima dos resíduos florestais podem diminuir a biota do solo e aumentar os riscos de ocorrer erosão hídrica, prejudicando a sustentabilidade da produção florestal no longo prazo (GONÇALVES et al., 2002b; SEIXAS, 2002), a despeito de um maior crescimento inicial face à maior disponibilização de nutrientes (STAPE et al., 2002a; NZILA et al., 1997).

Os implementos mais utilizados para o preparo de solo em áreas de cultivo mínimo do solo para o plantio florestal são o subsolador (profundidade de trabalho acima de 30cm), o escarificador (profundidade de trabalho de até 30cm), e o coveador mecânico. Este último implemento é utilizado em áreas muito declivosas ou em áreas com obstáculos físicos ao subsolador. O efeito destes implementos no solo é muito variável, dependendo da profundidade de trabalho e da umidade do solo, mas de maneira geral, segundo Gonçalves et al. (2002a), para uma profundidade de preparo de 40 cm o subsolador prepara um volume de solo de aproximadamente $531 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, o coveador mecânico um volume de $83 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e a cova manual $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Em estudo de Gonçalves et al. (2002b) foi observado o efeito de diferentes práticas de manejo dos resíduos vegetais no crescimento das árvores de eucalipto. O estudo analisou o efeito da queima, incorporação e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo em um povoamento de eucalipto. A simples remoção das cascas reduziu

substancialmente o crescimento das árvores e o pior tratamento foi aquele em que todos os resíduos foram removidos da área. Estes resultados destacam a importância dos resíduos na produtividade da floresta em solos de baixa fertilidade.

A maioria das pesquisas sobre os métodos de preparo de solo foram realizadas em áreas de solo plano, que apresentam menores problemas de conservação (SUITER et al., 1980; FINGER et al., 1996; SASAKI, 2000; BENTIVENHA, 2001), em detrimento das áreas declivosas, mais frágeis do ponto de vista erosivo (FIRME et al., 1988). Desta forma, a dualidade entre produtividade e conservação do solo torna-se mais crítica e relevante em áreas declivosas, e o entendimento destes fatores é necessário, principalmente no crescimento inicial da floresta, período mais crítico de erosão pós-plantio (LIMA, 1988; GONÇALVES et al., 2000).

2.1.3 Efeito de sistemas de cultivo na erosão hídrica

As consequências do inadequado manejo do solo, elevando as taxas erosivas, podem diminuir o potencial produtivo de um sítio rapidamente (McEVOY, 1989). A resposta de um solo ao processo erosivo é complexo, e é influenciado pelas propriedades do solo como sua textura, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, mineralogia da argila, e propriedades químicas. Algumas dessas propriedades, como a matéria orgânica, podem ser alteradas com o passar do tempo devido ao uso da terra, práticas de manejo e sistemas de cultivo. A erosão dos horizontes superficiais do solo pode expor um horizonte mais profundo com diferentes características físicas e de erodibilidade do que o horizonte superficial. Consequentemente a erodibilidade do solo pode mudar com o tempo (LAL; ELLIOT, 1988).

A importância relativa dos fatores que controlam as variações espaciais da erosão são dependentes da escala. A maior ênfase é dada para o clima, contudo a formação do solo é resultado da interação de vários fatores como a estrutura geológica,

o clima, a hidrologia, a vegetação, e a atividade humana e animal (KALENISK, 1961). Quando se passa da macro para a micro-escala, mudanças graduais ocorrem na variável dominante sobre os processos erosivos. Assim, na escala da propriedade agrícola, o clima é uniforme e portanto o tipo de solo, a declividade, e a vegetação tornam-se mais importantes.

As altas taxas de erosão do solo são um grave problema, contudo, o que é difícil obter, de forma rápida e precisa, são as dimensões – a extensão, magnitude, e a taxa – da erosão do solo e suas conseqüências econômicas e ambientais. As informações freqüentemente encontradas na literatura estão baseadas em pesquisas de reconhecimento e utilizam extrapolações baseadas em dados restritos (LAL, 1988).

No monitoramento das perdas de solo por erosão hídrica é importante comparar as taxas erosivas obtidas com os limites estabelecidos pela tolerância de perdas de cada solo. A FAO (1967) admite perdas da ordem de $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos profundos, permeáveis e bem drenados; $2,0$ a $4,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos rasos ou impermeáveis e, para outros solos, admite perdas entre 4 e $12,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Bertoni e Lombardi (1985) fizeram uma estimativa de padrões de tolerância de perdas para o estado de São Paulo. Os valores médios para solos com B textural variaram de $4,5$ a $13,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para solos com B latossólico de $9,6$ a $15,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e para solos pouco desenvolvidos de $4,2$ a $14,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Diversos estudos de erosão foram feitos com diferentes culturas agrícolas e classes de solo, onde os autores quantificaram os valores de perdas de solo e água nestes sistemas. Na revisão bibliográfica de Silva et al. (1992 apud MARTINS, 2003), foram encontrados valores de perda de solo variando de $0,0$ a $11,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para áreas com o sistema de plantio direto e de $0,4$ a $31,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para áreas cultivadas com o sistema de preparo convencional, demonstrando assim que o plantio direto apresentou as menores taxas de perda de solo. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos de Nunes Filho et al. (1990) e de Hernani et al. (1997; 1999).

Trabalhando em pastagens e utilizando o método de mudança na superfície do solo por meio dos pinos metálicos, Bono et al. (1994) quantificaram perdas de solo em diferentes sistemas de preparo, obtendo perdas que variaram de 24,4 a 39,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e de 6,8 a 18,0 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para Cambissolo e Latossolo, respectivamente. Santos et al. (1993) também trabalhando com o método dos pinos metálicos em pastagens encontraram valores de perda de solo em torno de 3,4 a 151,2 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Estudando florestas de eucalipto, Lima (1988) determinou perdas de solo e água durante quatro anos em Areia Quartzosa cultivada com *Eucalyptus grandis*. Segundo o autor, as perdas para o primeiro ano foram de 1,00 a 10,40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e, para o quarto ano, de 0,01 a 0,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, observando-se uma diminuição acentuada de perdas de solo com o tempo de cultivo nas parcelas reflorestadas devido ao crescimento do eucalipto que aumentou a cobertura do solo, com o fechamento da copa, e também com a formação da serapilheira.

Também em sistemas florestais, Hernani et al. (1987) quantificaram perdas de solo para Latossolo Amarelo, em uma área sob floresta secundária e outra destocada, de 0,1 e 1,9 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Martins et al. (2003) estudaram perda de solo em floresta de eucalipto na região de Aracruz-ES, encontrando perdas médias em torno de 1,2 e 1,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, para um Argissolo Amarelo textura média/argilosa e um Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, respectivamente. Os autores concluíram que as perdas de solo por erosão hídrica em plantações florestais são bem menores do que as observadas em culturas agrícolas e pastagens (HERNANI et al., 1997; 1999).

Cardoso (2003) estudando perdas de solo através do método da parcela padrão e do pino, em Argissolo Amarelo textura média/argilosa, Argissolo Amarelo Moderadamente rochoso e Plintossolo Háplico, para três sistemas de uso do solo (eucalipto, mata nativa e solo descoberto) na região de Aracruz-ES, encontrou os maiores valores de perda de solo para o Argissolo Amarelo moderadamente rochoso, onde na área com eucalipto a perda de solo foi de 1,19 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, na mata nativa a

perda foi de $0,05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e no solo descoberto $36,77 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As perdas erosivas nos três solos para o cultivo do eucalipto foram bem inferiores aos limites de tolerância de perdas erosivas, que variaram de 10,0 a $13,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para os três solos da região de estudo, indicando que o manejo do solo para o cultivo do eucalipto estava adequado.

Também estudando as perdas de solo em floresta de eucalipto plantada em diferentes alinhamentos no sistema de cultivo mínimo com cova manual, comparando com resultados da mata nativa, pastagem e solo descoberto em área de Latossolo Vermelho distrófico, Brito (2004) encontrou valores de perda de solo para o período inicial de crescimento da floresta (até os 14 meses de idade) de $0,11 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o eucalipto plantado em nível, $0,01 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o eucalipto plantado no sentido do declive, $0,01 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a mata nativa, $0,41 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a pastagem, e $1,80 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o solo descoberto. Estes valores de perdas de solo ficaram muito abaixo da tolerância admissível estabelecida para essa classe de solo na região do estudo, que é de $11,22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, demonstrando assim que o sistema de uso e manejo de solo estava adequado para as condições do estudo. Cabe ressaltar que estes dados são oriundos de parcelas padrão sem repetição.

Oyarzun (1994) estudando o efeito da colheita de *Pinus* na erosão do solo em parcelas com e sem resíduos, observou que os resíduos diminuíram a erosão em 57% no primeiro ano e em 18% no segundo ano após a colheita, demonstrando a importância de manter uma cobertura protetora de resíduos sobre o solo em áreas de reforma para diminuir a erosão hídrica.

2.1.4 Efeito da erosão hídrica na perda de nutrientes

Além de quantificar a perda de solo e água na erosão hídrica é importante também quantificar o que estas perdas representam em teores de nutrientes removidos com o solo e a água erodidos.

Rogers (1941) apresenta dados concluindo que o material erodido era 16% mais rico em nitrogênio total e 11% em fósforo do que o solo original. Grohman e Catani (1949) estudando um solo Podzolizado de Lins e Marília-SP, encontraram que o solo transportado possuía 2,0 vezes mais matéria orgânica; 2,8 vezes mais P; 2,3 mais K e 1,9 mais Ca do que o solo original (camada de 0-20 cm), devido ao arraste laminar da camada superficial do solo (0-5cm). Resultados semelhantes de perda de solo da camada mais fértil foram obtidos por Oyarzun (1994) em área cultivada com *Pinus*.

Em plantio de *E. grandis* em Areia Quartzosa, Lima (1988) mensurou a perda de nutrientes pelo escoamento superficial, sendo que no primeiro ano os valores de perda de Ca variaram de 3,2 a 4,1 kg ha⁻¹; 0,6 a 1,9 kg ha⁻¹ para o K; de 0,5 a 1,0 kg ha⁻¹ para o N; e de 0,2 a 0,3 kg ha⁻¹ para Mg. Alarcón e Prado (1990) estudando o efeito do manejo de resíduos da exploração de *Pinus* nos processos erosivos, mensuraram a perda de nutrientes pela erosão hídrica, que variou de 0,4 a 7,5 kg ha⁻¹ para o N; 0,02 a 10,6 kg ha⁻¹ para o P; e 1,3 a 34,1 kg ha⁻¹ para o K.

2.1.5 Efeito do preparo de solo no crescimento inicial de florestas plantadas

O termo sítio é definido por Husch et al. (1982) como sendo a interação entre fatores climáticos, do solo, topográficos e da competição entre os seres vivos. Desta forma a característica do sítio pode, até certos limites, ser alterada pelo homem através do preparo do solo, adubação, drenagem e irrigação. Assim, o preparo de solo pode modificar as condições ambientais vindo a favorecer o desenvolvimento de uma cultura, mas também pode causar impactos ambientais como a erosão, quando é realizado de forma incorreta.

Os efeitos de diferentes métodos de preparo de solo no crescimento inicial de florestas plantadas já foram registrados por diversos pesquisadores. Poynton (1965) conduziu um experimento demonstrando que o desenvolvimento de plantas de *E.*

saligna foi diretamente influenciado pela intensidade de preparo do solo até os 6 anos de idade após o plantio, e que o maior crescimento das plantas ocorreu onde houve maior intensidade de preparo de solo.

Suiter Filho et al. (1980) testaram o efeito de quatro métodos de preparo do solo no crescimento do *E. grandis* na região de Várzea da Palma-MG. O solo na área de estudo era o Latossolo Vermelho Amarelo e os tratamentos utilizados foram: gradagem, subsolagem de 3 em 3m mais grade Bedding, subsolagem de 1 em 1m mais grade Bedding, e aração e gradagem. Os resultados demonstraram que aos 14 meses de idade o volume foi maior no tratamento com subsolagem de 1 em 1m, sendo este 112% maior do que no preparo convencional da época (aração e gradagem). Os autores creditaram estes resultados à eficiência do preparo com a subsolagem em solos pesados, possibilitando maior desenvolvimento do sistema radicular do eucalipto e conseqüentemente maior crescimento das árvores em altura e diâmetro.

Bassman (1989) estudou a influência de dois métodos de preparo do solo (escarificação e camalhão) no crescimento inicial de coníferas. No preparo com camalhão a biomassa total foi 2,5 vezes superior à testemunha (sem preparo) e no preparo com escarificação a biomassa total foi 1,7 vezes superior a testemunha, indicando assim a influência do preparo de solo no crescimento do comprimento radicular e da biomassa das plantas.

Nzila et al. (1997) estudaram o efeito de três métodos de preparo de solo (sem subsolagem, subsolagem com 1 haste, e subsolagem com 3 hastes) e três métodos de manejo de resíduos (com serapilheira, serapilheira incorporada, e serapilheira queimada) no crescimento inicial de plantios de eucalipto no Congo. Para os tratamentos de resíduos, o melhor crescimento aos 11 meses foi para o tratamento com queima controlada, e o pior tratamento para a manutenção dos resíduos, devido a baixa fertilidade do solo. Com relação ao preparo de solo o maior crescimento ocorreu na subsolagem com 3 hastes e o pior crescimento foi onde não houve subsolagem. Segundo os autores estes resultados indicam o efeito favorável do preparo de solo no

crescimento inicial do eucalipto, pois a subsolagem na entrelinha favorece a exploração do solo pelo sistema radicular das plantas, e favorece a aeração do solo e a decomposição da matéria orgânica, liberando nutrientes para as árvores.

Finger et al. (1996) constatou o efeito da subsolagem no crescimento do *E. grandis* até a idade de 3,5 anos em solo Podzólico com ocorrência de camada de impedimento, com 50% de ganho no DAP e 35% na altura, relativamente ao solo não preparado. Stape et al. (2002a) estudaram o efeito de três sistemas de limpeza de terreno, preparo de solo e fertilização em dois sítios com solos e produtividades distintas na região de Entre-Rios BA, e constatou o efeito positivo do preparo de solo e fertilização no crescimento inicial do eucalipto até os 12 meses de idade. O preparo com subsolagem apresentou os maiores valores para altura das árvores nos dois sítios, comparado com a cova manual. No sítio com menor fertilidade a resposta à adubação e à queima dos resíduos foi maior do que no sítio mais fértil. Estes resultados demonstraram que o bom preparo de solo aumenta o crescimento inicial do plantio por proporcionar melhores condições de solo para o crescimento radicular das árvores, que exploram um volume maior do solo e desta forma aumentam a sua área de absorção de água possibilitando um menor estresse das plantas quando ocorrem déficits hídricos.

2.2 Material e métodos

Um ensaio experimental em fatorial completo 3 x 2, com três níveis de intensidade de preparo de solo e dois níveis de manejo de resíduos, com 4 repetições, foi instalado em março de 2004 em área declivosa no Vale do Paraíba-SP. O experimento foi acompanhado durante um ano, até fevereiro de 2005. As avaliações do desenvolvimento inicial do eucalipto foram feitas aos 3, 6, 9 e 12 meses, e as avaliações de perda de solo foram separadas em três períodos, 0-2, 3-7, e 8-12 meses respectivamente.

2.2.1 Descrição da área experimental

2.2.1.1 Localização

O ensaio foi instalado em uma área da Votorantim Celulose e Papel S.A. na Fazenda Rosa Helena, localizada no município de Igaratá, na região do Vale do Paraíba. A área experimental está situada nas coordenadas 23°12' S, 46°09' W de Greenwich, a uma altitude de 745 m acima do nível do mar.

2.2.1.2 Clima e precipitação pluviométrica

O clima da região é do tipo Cwa de acordo com a classificação de Köppen, sendo caracterizado como um clima tropical de altitude com inverno seco e verão quente, com total de chuvas no mês mais seco menor do que 30 mm, temperatura média no mês mais quente superior a 22,0° C e no mês mais frio inferior a 18,0° C. A temperatura média anual é de 21,5° C (SÃO PAULO, 1972), e a precipitação anual média é de 1.265 mm (SENTELHAS et al., 2005).

Sentelhas et al. (2005) compilaram dados climatológicos dos bancos de dados do INMET, IAC, IAPAR, DAEE/SP e ESALQ/USP, obtendo o balanço hídrico histórico de Igaratá (Figura 1).

Figura 1 – Balanço hídrico climatológico para a região de Igaratá-SP utilizando os dados históricos para um CAD de 100 mm. PPT = precipitação, ETP = evapotranspiração potencial, ETR = evapotranspiração real.

Fonte: Sentelhas et al. (2005)

Nota-se, que na região do estudo ocorre um pequeno déficit hídrico de 38 mm, durante os meses de abril a setembro, com as maiores precipitações entre dezembro e fevereiro, com valores superiores a 200 mm/mês.

Instalou-se um pluviômetro no local do projeto experimental para avaliar a precipitação mensal durante os 12 meses do estudo, com leituras feitas após todos eventos de chuva. A precipitação total neste período foi de 1.360 mm. Na Figura 2 é possível visualizar a distribuição da precipitação mensal durante o período de estudo comparativamente com a precipitação histórica.

Figura 2 – Precipitação mensal na área experimental durante o período de avaliação e precipitação histórica, destacando os 3 períodos de avaliação de perdas de solo

Com o pluviômetro instalado no local do experimento foi possível obter a precipitação mensal durante o período de estudo mas não a intensidade da chuva em mm h^{-1} , impossibilitando a estimativa da energia cinética da chuva. No entanto, calculou-se a média mensal do índice de erosão (EI) utilizando a fórmula proposta por Lombardi e Moldenhauer (1980), com base em estudos referentes a 22 anos de

registros de precipitação na região de Campinas-SP, distante 110 km de Igaratá. A equação utilizada nesta estimativa foi:

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (1)$$

Onde: EI é a média mensal do índice de erosão ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$); r é a precipitação média mensal (mm); e P é a precipitação média anual (mm).

A distribuição da estimativa mensal do índice de erosão médio (EI) e da precipitação, durante o período de estudo, são observados na Figura 3, onde os índices de erosão acompanham as mesmas tendências de distribuição dos valores de precipitação, e evidenciam que o período de estudo representou um ano típico da região, com pequeno desvio a mais no mês de Abril (Figura 2).

Figura 3 – Índice de erosão médio mensal e precipitação mensal para o período de estudo na região de Igaratá-SP

O valor de erosividade total anual estimada foi de $6.461 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, sendo a erosividade da chuva dessa região classificada então como média, de acordo com a faixa de distribuição da erosividade no Brasil (COGO, 1988).

2.2.1.3 Geologia, topografia e vegetação

Pela divisão geomorfológica do estado de São Paulo, segundo IPT (1981), a área de estudo situa-se no Planalto Atlântico que caracteriza-se como uma região de terras altas, constituída predominantemente por rochas cristalinas pré-cambrianas, cortadas por intrusivas básicas e alcalinas mesozóico-terciárias.

O sistema de relevo no local de estudo é denominado relevo de morros, onde predominam amplitudes locais de 100 a 300 metros e declividades médias a altas – acima de 15%, com drenagem de alta densidade, vales fechados a abertos e planícies aluvionares interiores restritas (IPT, 1981). Na área experimental as declividades variaram de 13 a 30% e inserem-se no padrão de relevo do Vale do Paraíba.

A vegetação original do sítio era constituída pela floresta ombrófila densa, atualmente restrita a porções isoladas junto aos cursos d'água e relevos mais acentuados (EVA, et al., 2002). O uso do solo na região do Vale do Paraíba foi dominado no século 19 pelo cultivo do café, quando o processo de degradação dos solos foi intensificado devido ao desmatamento e ao preparo e uso inadequado dos solos em áreas acidentadas. Com o declínio da economia cafeeira, a pecuária leiteira entrou na região na década de 20 do século 20, ocasionando a expansão de pastagens, as quais vem continuamente se degradando devido ao superpastejo (TOLEDO, 2001 apud SILVA et al., 2002)

Atualmente, a eucaliptocultura tem se transformado numa alternativa para a região, por encontrar excelentes condições climáticas, e por sua menor exigência em fertilidade do solo. Por este motivo várias empresas florestais estabeleceram-se na

região ocupando principalmente as áreas com pastagens degradadas (SILVA et al., 2002; KRONKA, et al., 2003).

No local do ensaio o uso do solo era pastagem até 1995, quando a Votorantim Celulose e Papel adquiriu a área e passou a cultivar eucalipto. A rotação anterior ao plantio atual foi estabelecida com *E. grandis* implantado com coveamento manual, o qual atingiu a produtividade média de madeira com casca de $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Na idade de 7 anos, em novembro de 2003, a floresta foi colhida utilizando o sistema Harvester e Forwarder, deixando sobre o solo os resíduos desta operação (folha, galho, casca, e a destopa da árvore para diâmetro menor do que 12 cm).

O plantio atual foi feito em 5 de março de 2004 com mudas clonais de *E. grandis* de alta produtividade (Clone VCP-C041).

2.2.1.4 Solos e análises

Do ponto de vista litológico, ocorrem na região predominantemente as argilas, siltes e areias finas, oriundas de migmatitos, gnaisses, granitos e granitóides (IPT, 1981).

A classe dominante de solo na área experimental é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média/argilosa (¹SILVA, informação pessoal), e as características físicas e químicas do solo são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente, onde foram tomadas 20 amostras simples para cada amostra composta.

¹ SILVA, C.R. Mensagem recebida por <ptsm@ipef.br> em 15 novembro 2003.

Tabela 1 – Atributos físicos do horizonte superficial do solo (0-15 cm) e declividade média, nas 4 repetições da área experimental

Bloco	Argila	Silte	¹ AG	² AF	Classe Textural	³ DS	⁴ Por. Tot.	⁵ Comp.	Declividade
nº	----- % -----					Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³	MPa	%
1	34	8	45	13	md-arg.	1,14	0,55	1,8	19,1
1	30	8	30	32	md-arg.	1,20	0,52	1,8	21,7
2	26	6	37	31	md-arg.	1,31	0,49	1,8	17,4
2	34	12	25	29	md-arg.	1,22	0,54	2,1	23,5
3	32	6	27	35	md-arg.	1,38	0,48	2,1	24,6
3	32	8	29	31	md-arg.	1,18	0,54	2,3	19,2
4	48	7	29	16	arg.	1,08	0,58	1,5	13,3
4	46	5	30	19	arg.	1,09	0,60	1,8	23,5

1 – areia grossa; 2 – areia fina; 3 – densidade do solo; 4 – porosidade total; 5 – compactação do solo a 10 cm de profundidade (umidade do solo = 27,5%).

Assim, a topografia na área do experimento variou de ondulado (blocos 3 e 4) a forte ondulado (blocos 1 e 2), segundo classificação de Lemos (1984).

A densidade do solo foi calculada com base na metodologia do anel metálico, segundo descrição de Grossman e Reinsch (2002), utilizando-se anéis de 50 mm de diâmetro por 50 mm de comprimento. A compactação do solo foi avaliada utilizando um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, segundo descrição de Stolf et al. (1983).

Tabela 2 – Atributos químicos do horizonte superficial do solo (0-15 cm), nas 4 repetições da área experimental

Bloco	pH	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	T	V	m
nº	H ₂ O	CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	mmolc kg ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----
1	4,1	3,7	40	12	2,6	4	4	91	101,6	10	71
1	4,3	4,0	37	11	3,2	6	10	86	105,2	18	53
2	4,0	3,6	40	12	4,0	3	3	87	97,0	10	74
2	4,1	3,8	41	13	3,8	4	4	92	103,8	11	70
3	4,2	3,7	40	15	4,1	6	6	84	100,1	16	59
4	3,8	3,7	47	10	3,8	2	2	108	115,8	7	78
4	3,8	3,6	49	13	3,6	3	2	110	118,6	7	77

M.O. – matéria orgânica

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro (densímetro), segundo Day (1965) e modificado por Gee e Bauder (1986), no horizonte A do solo da área experimental. A matéria orgânica foi calculada pelo método de titulometria conforme Walkey e Black (1934). Todas as análises foram feitas no laboratório do Departamento de Solos da ESALQ/USP.

Pelas análises (Tabelas 1 e 2), o solo apresenta, para os padrões florestais, média a alta fertilidade, no tocante a N, P e K, mas com baixos teores de Ca (GONÇALVES, 1996). As propriedades físicas são também favoráveis à retenção hídrica e ao crescimento.

2.2.2 Descrição do delineamento experimental

2.2.2.1 Tratamentos experimentais

Os tratamentos utilizados no estudo buscam analisar os efeitos de métodos de preparo de solo e manejo de resíduos na perda de solo e no crescimento inicial do eucalipto. Para tanto foi definido um experimento fatorial que analisa o fator preparo com três intensidades e o fator resíduo, com ou sem a presença dos resíduos. Os métodos de preparo de solo escolhidos são os usualmente utilizados em áreas declivosas na região de estudo.

O experimento foi instalado em março de 2004, e a perda de solo por erosão hídrica foi mensurada até fevereiro de 2005, completando um ano de avaliações. Na Tabela 3 são apresentados os tratamentos utilizados no estudo, mostrando, a intensidade de preparo de solo e os manejos de resíduos utilizados.

Tabela 3 – Tratamentos utilizados no experimento fatorial 3 x 2 na VCP em Igaratá-SP, suas siglas e descrição

Sigla do tratamento	Fator Preparo	Fator Resíduo
MAS	Cova Manual (20x20x20cm)	Sem resíduo
MAC	Cova Manual (20x20x20cm)	Com resíduo
MES	Cova Mecanizada (30x30x50cm)	Sem resíduo
MEC	Cova Mecanizada (30x30x50cm)	Com resíduo
SUS	Subsolagem a favor do declive (60 cm profundidade)	Sem resíduo
SUC	Subsolagem a favor do declive (60 cm profundidade)	Com resíduo

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os blocos 1, 2 e 3 contíguos e o bloco 4 distante 500 m destes. Também foi instalada uma parcela testemunha (TES) onde o solo não foi preparado e os resíduos foram removidos, ficando o solo descoberto durante o período de estudo. As parcelas experimentais foram compostas por 8 linhas x 16 plantas no espaçamento 3 m x 2 m, ocupando cada uma área de 768 m². As parcelas utilizaram bordadura dupla, parcela útil de 4 linhas x 12 plantas, sendo as linhas no sentido do declive. A área total do experimento foi de 1,84 hectares.

A cova manual foi realizada com um enxadão. Para tracionar os implementos utilizados nos tratamentos com coveamento mecânico e subsolagem a favor do declive, foi utilizado um trator 4 x 2 TDA de 110 CV de potência nominal. O subsolador utilizado foi modelo DMB monohaste, e o coveador mecânico dupla-haste foi desenvolvido pela equipe da VCP (Figura 4).

Antes do plantio foi aplicado manualmente 600 kg por hectare de calcário dolomítico. No momento do plantio foi realizada uma adubação de base com a localização do adubo em covetas laterais, utilizando 110g do adubo NPK 4:28:6 por planta. Aos três meses de idade foi feita a primeira adubação de cobertura com aplicação de 100 g do adubo NPK 20:0:20 por planta distribuídos em coroa ao redor da planta, e aos 9 meses foi feita a última adubação de cobertura onde foram aplicados 120g do adubo NPK 20:0:25 por planta distribuídos a lanço, em área total.

Figura 4 – Fator preparo: A. coveamento manual; B. coveamento mecânico; C. subsolagem a favor do declive. Fator resíduo: B, C e A sem resíduo; D com resíduo

A área experimental foi mantida sempre livre de matocompetição, através do controle químico das plantas invasoras com herbicida (glifosato), e de formigas, através do uso de iscas formicidas (sulfluramida).

2.2.2.2 Avaliação dos resíduos da colheita

Para quantificar o fator resíduo, foi mensurada a quantidade de resíduos deixados na área de estudo pela colheita realizada no sistema Harvester e Forwarder. Para esta mensuração foi utilizado um amostrador quadrado com 50 cm x 50 cm (0,25 m²), com 4 lançamentos aleatórios por parcela, coletando todos os resíduos encontrados na área do amostrador. Os resíduos tiveram a sua umidade determinada, obtendo o peso seco dos resíduos por hectare.

Nas parcelas sem resíduos, o mesmo foi retirado e colocado na bordadura do experimento, deixando o solo descoberto. O preparo de solo foi realizado na área total do experimento após a retirada dos resíduos das respectivas parcelas.

O valor médio da biomassa de resíduos da colheita foi de 52,9 Mg ha⁻¹, variando de 38,4 a 64,9 Mg ha⁻¹. Estes valores, muito altos, estão coerentes com a realidade operacional específica desta colheita, onde houve excesso de perdas pelo Harvester, segundo citação de Silva² (informação pessoal).

2.2.2.3 Volume mobilizado de solo

Para avaliar as três intensidades de preparo (coveamento manual, coveamento mecânico e subsolagem a favor do declive) foi mensurado o volume mobilizado de solo (VMS). O VMS por hectare foi calculado conforme metodologia utilizada por Sasaki (2005). O volume mobilizado de solo por hectare para o preparo de solo com subsolagem, foi determinado baseado no espaçamento entre as linhas de plantio, de acordo com a equação:

$$VMS = AMS \cdot \frac{10000}{L} \quad (2)$$

Onde: VMS = volume mobilizado de solo (m³ ha⁻¹), AMS = área mobilizada de solo, (m²), e L = espaçamento entre linhas de plantio (3m).

A área mobilizada de solo foi mensurada pelo método das zonas de resistência (BENTIVENHA et al., 2003; STAPE et al., 2002a). O procedimento consiste em fazer uma avaliação prévia da resistência à penetração do solo utilizando um penetrômetro de impacto (STOLF et al., 1983) antes de realizar o preparo de solo. Após o preparo de solo, é feita outra avaliação da resistência à penetração do solo na forma de transectos perpendiculares à linha, onde foi feito o preparo de solo. Por comparação entre a compactação antes e após o preparo de solo é determinada a área mobilizada. Considerou-se área preparada aquela em que a compactação se reduziu.

²SILVA, C. R. Comunicação por telefone em 13 setembro 2005.

Tomaram-se três amostras por parcela, em transectos com largura total de 120 cm, 60 cm à esquerda e 60 cm à direita da linha central do preparo, e foi feita a análise da resistência à penetração até a profundidade de 60 cm. As sondagens foram feitas a cada 15 cm. No exemplo da Figura 5, a resistência à penetração do solo obtida antes do preparo de solo com subsolagem era de 2,0 MPa, numa umidade de 0,28 cm³ cm⁻³.

O VMS para o preparo de solo com coveamento manual ou mecânico foi calculado de forma similar à subsolagem, porém considerado-se também o espaçamento de plantio utilizado:

$$VMS = AMS \cdot G \cdot \frac{10000}{L \times E} \quad (3)$$

Onde: VMS = volume mobilizado de solo (m³ ha⁻¹), AMS = área mobilizada de solo, (m²), G = largura da cova (0,20 m na cova manual e 0,30 m na cova mecanizada), L = espaçamento entre linhas de plantio (3 m), e E = espaçamento entre plantas (2 m).

Figura 5 - Exemplo de uma avaliação do tratamento SUS, do bloco 4, ilustrando as isolinhas de resistência à penetração do solo, obtidas pelo penetrômetro de impacto. No eixo X, o ponto C está localizado na linha central de subsolagem e, os demais, à esquerda e à direita, à distância de 15 cm um do outro. A área hachurada designa a área mobilizada de solo pela subsolagem (AMS), esta área é delimitada pela isolinha que corresponde à resistência à penetração antes da subsolagem (2,0 MPa)

2.2.3 Estimativa da erosão nas parcelas

O método do pino foi planejado para ser aquele que estimasse a perda de solo em todas as 24 parcelas experimentais, utilizando-se uma adaptação do método proposto por Verdolin (1980).

Para calibrar o método dos pinos e avaliar a variabilidade espacial da erosão dentro de um mesmo tratamento experimental, foi utilizado o método da parcela padrão de acordo com a metodologia proposta por Cogo (1978a e 1978b).

2.2.3.1 Método dos pinos

O método dos pinos foi conduzido utilizando pinos graduados metálicos cilíndricos de 12 mm de diâmetro e 50 cm de altura enterrados no solo, ficando 2 cm descobertos. Os pinos foram locados dentro de cada uma das 24 parcelas experimentais, na área útil de 14 x 24 metros, sendo utilizados 15 pinos por parcela. Os pinos foram instalados na linha de preparo de solo, na entrelinha e na posição intermediária, distribuídos de maneira sistemática em 5 posições dentro da parcela iniciando pelo canto superior esquerdo e terminando no canto inferior direito (Figura 6).

Logo após a instalação dos pinos foi medida a distância entre o topo do pino e a superfície do solo, tomando esta medida sempre com referência na parte superior do declive (Figura 6). As outras medições foram feitas aos 2, 7 e 12 meses após o plantio do eucalipto e tiveram a sua medida comparada com a medição inicial logo após a instalação no campo, correspondendo aos três períodos de acompanhamento da erosão pós plantio nas parcelas-padrão, isto é, 0 a 2 meses, 3 a 7 meses, e 8 a 12 meses.

Com base nas medidas dos pinos calcularam-se índices de movimentação de terra dentro de cada parcela, em cada período, através do valor médio dos pinos (PVAR); da média das medidas dos pinos, em cm, desconsiderando o sinal da mudança de superfície do solo na parcela, utilizando os valores em módulo (PABS); do máximo valor medido, em cm, para os pinos considerando o sinal da mudança de superfície, onde o sinal positivo indica a perda de solo e o sinal negativo o acúmulo (PVAX); e o máximo valor medido, em cm, para os pinos desconsiderando o sinal da mudança de superfície, utilizando os valores em módulo (PABX). O PVAR é o valor normalmente utilizado nas equações para estimar a erosão pelo método dos pinos.

Figura 6 - Ilustração de uma parcela experimental com a localização dos pinos dentro da parcela padrão

2.2.3.2 Equação de perda de solo baseado nos pinos

O método da parcela padrão é a referência nos estudos de erosão, contudo o método do pino é mais prático e barato. Desta forma este estudo foi estruturado para avaliar a viabilidade de estimar a erosão em função da medição dos pinos conforme a distribuição espacial utilizada dentro das parcelas experimentais (Figura 6).

Para estudar a relação entre a variação dos pinos (PVAR, PABS, PVAX, PABX) e a erosão efetiva, foram escolhidos os dois tratamentos mais contrastantes, o tratamento com cova manual e com resíduos (MAC) e o tratamento com subsolagem a favor do declive sem resíduos (SUS), com expectativas de serem os com menores e maiores valores de erosão, respectivamente.

2.2.3.3 Método da parcela padrão

A parcela padrão utilizada teve as dimensões de 14 x 24 metros, sendo a maior dimensão da parcela direcionada no sentido do declive (Figuras 6 e 7). As parcelas foram cercadas com chapas galvanizadas de 40 cm de largura, enterradas a uma profundidade de 20 cm. Na extremidade inferior da parcela foram colocadas calhas coletoras para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. Os tanques coletores utilizados foram duas caixas d'água circulares de amianto com capacidade para 500 litros. A primeira caixa foi utilizada como tanque de sedimentação e possuía um divisor do tipo Geib de 15 janelas. A segunda caixa foi utilizada como tanque coletor de água e sedimentos. O sistema divisor do tipo Geib conduzia 1/15 da água da enxurrada para o tanque coletor de água através de uma canaleta após o tanque de sedimentação estar cheio.

As coletas foram realizadas no período de março de 2004 a fevereiro de 2005, sendo os tanques coletores esvaziados sempre que ocorriam grandes chuvas, e os valores de perdas de solo e água mensurados foram agrupados em três períodos,

sendo o período 1 de 0 a 2 meses, o período 2 de 3 a 7 meses, e o período 3 de 8 a 12 meses.

Figura 7 - A. visão geral da parcela padrão com o tanque de sedimentação; B. detalhe do tanque de sedimentação utilizando o divisor tipo Geib de 15 janelas e do tanque de coleta de água e sedimentos

Foram instaladas um total de 9 parcelas padrão, sendo quatro repetições para os tratamentos com coveamento manual e com resíduos (MAC) e subsolagem a favor do declive sem resíduos (SUS), e uma caixa padrão de 4 x 12 m que foi mantida sem resíduos e sem preparo (TES).

As repetições do método da parcela padrão nos quatro blocos experimentais tiveram o objetivo de avaliar a magnitude da variabilidade espacial da erosão hídrica dentro dos tratamentos e também buscar identificar as variáveis que mais influenciam esta eventual variabilidade.

2.2.3.4 Relação entre erosão medida e as variáveis das parcelas

Para fazer a estimativa da erosão pelo método do pino, foram feitas análises de regressão linear múltiplas para determinar equações capazes de estimar a erosão do solo através da mensuração direta dos pinos e atributos locais das parcelas.

As regressões utilizaram como variável dependente (y) a erosão observada na parcela padrão, e como variáveis independentes ($x_1, x_2, \dots x_n$) os índices das medições dos pinos nas diversas posições dentro da parcela (PVAR, PABS, PVAX, PABX), e as variáveis locais, que são o volume mobilizado de solo (VMS), a declividade, características físicas do solo (porosidade total, porcentagem de argila) e características de cobertura pelo cultivo do eucalipto (fator cobertura, biomassa por hectare da parte aérea).

Antes de fazer a regressão linear múltipla foi feita uma análise de correlação de Pearson para avaliar o grau de colinearidade entre as variáveis analisadas, retirando-se da análise as com alto grau de correlação.

A regressão linear múltipla foi implementada de dois modos, de forma a obter a estimativa da erosão no ano, nas parcelas. No primeiro modo, as equações foram estabelecidas para cada um dos três períodos, obtendo-se 3 regressões lineares (1 por período), tendo, portanto, cada uma 8 observações. No segundo modo utilizaram-se todas as 24 observações tomadas ao longo do ano para obter uma única equação de erosão. Tal procedimento foi adotado devido a não existência de uma rígida validação de cada um destes modelos separadamente, assumindo-se então que tendências similares de estimativas de erosão representariam maior segurança nas interpretações. Desta forma, para cada parcela foram obtidas 2 estimativas de erosão no ano.

Assim, detalhadamente, as variáveis utilizadas nas regressões lineares múltiplas foram:

Variável Dependente (y):

EROS - perda de solo observada na parcela padrão (Mg ha^{-1})

Variáveis Independentes locais (x_i):

DECL - declividade média das parcelas (%)

PTS - porosidade total do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) na camada superficial (0-15 cm)

- ARG** - porcentagem de argila (%) na camada superficial do solo (0-15 cm)
- VMS** - volume mobilizado de solo
- CBM** - cobertura média do solo com o eucalipto ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), calculado pela equação:

$$\text{CBM} = \sum \frac{\pi(D/2)^2}{\text{área útil da parcela}} \quad (4)$$

Onde: CBM = cobertura média do solo ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), D = diâmetro média da copa, medido na e entrelinha (m).

- BIO** - biomassa total da parte aérea do eucalipto (Mg ha^{-1})

Variáveis Independentes dos pinos (x_i):

PVAR, **PABS,** **PVAX,** **PABX**, já descritas.

A análise de regressão foi feita através de regressão linear múltipla utilizando a ferramenta “stepwise” do software estatístico SAS[®] (2001), com probabilidade de entrada de variável no modelo.

2.2.4 Avaliação do desenvolvimento inicial do eucalipto

Foram realizadas medições de altura, diâmetro da copa na linha de plantio, e diâmetro da copa na entrelinha, de todas as árvores da parcela útil aos 3, 6, 9 e 12 meses de idade do plantio de *E. grandis*. Aos 12 meses foi mensurado também o diâmetro à altura do peito (DAP).

2.2.4.1 Índice de copa

O índice de copa (ICOP) representa a superfície exposta de um cone com diâmetro da base igual ao diâmetro da copa da árvore, e altura igual a altura da árvore (POGGIANI; STAPE, 2003).

A mensuração da altura da árvore e do diâmetro da copa foi feita com o uso de uma régua topográfica. Para o diâmetro da copa foram utilizadas duas medições perpendiculares por árvore. Foram medidas todas as árvores da parcela útil do experimento totalizando 48 plantas por parcela. O índice de copa (ICOP) foi calculado pela equação:

$$\text{ICOP} = \frac{D}{2} \sqrt{H^2 + \frac{D^2}{4}} \quad (5)$$

Onde: D = (diâmetro da copa na linha de plantio + diâmetro da copa na entrelinha)/2
H = altura da árvore (m)

2.2.4.2 Biomassa da parte aérea

A biomassa da parte aérea foi obtida pela soma da biomassa de galho mais folhas, e a do lenho. Estas biomassas foram estimadas com base em equações alométricas obtidas através de derrubada de 16 árvores aos 6 meses e 8 árvores aos 12 meses, das bordaduras das parcelas. As árvores derrubadas tinham a altura igual a altura média de cada parcela útil amostrada.

A biomassa das árvores derrubadas foi pesada no campo e uma amostra foi levada para o laboratório para determinação da umidade. Estes dados foram utilizados para estimar a biomassa total aos 3, 6, 9 e 12 meses através das equações:

$$\text{BFOGA} = \frac{540 \cdot \text{ICOP}^{1,1908}}{1000} \quad N = 24, R^2 = 0,97 \quad (6)$$

Onde: BFOGA = biomassa de folha + galho (kg árvore^{-1}), ICOP = índice de copa (m^2).

$$\text{BLENHO} = 0,001 \cdot \text{EXP} [4,3708 + 2,1455 \cdot \ln(\text{DAP})] \quad N = 8, R^2 = 0,70 \quad (7)$$

Onde: BLENHO = biomassa do lenho (kg árvore^{-1}), DAP = diâmetro a altura do peito (cm), apenas realizada aos 12 meses.

A biomassa total por hectare (BIO) foi calculada pela soma das biomassas de cada árvore, na parcela, e posterior expansão para hectare (Mg ha^{-1}). O baixo número de árvores abatidas foi possível pelo fato de se estar utilizando apenas 1 clone.

2.2.5 Estimativa da perda de nutrientes por erosão

A coleta de amostras de solo erodido e da água do escoamento superficial para fazer as análises químicas foi feita dentro dos tanques coletores da parcela-padrão utilizada.

As coletas das amostras para análise química foram realizadas no período de março de 2004 a fevereiro de 2005, sendo os tanques coletores esvaziados sempre que ocorriam grandes eventos de chuvas. Ocorreram 20 eventos com coleta de dados das parcelas padrão neste período de um ano, sendo que foram enviadas para análise química as amostras de 6 eventos (11/03/04; 22/04/04; 17/06/04; 26/11/04; 20/01/05; e 10/03/05).

Foram feitas análises químicas de macro e micronutrientes no solo e na água coletados nos tanques de sedimentação. O método utilizado para análise química do solo foi o do IAC adaptado (ESALQ, 2005) e as análises foram feitas no laboratório do departamento de solos da ESALQ/USP. Para a análise química da água foi utilizado o método de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), segundo a descrição de Giné (1998), e as análises foram feitas no laboratório de espectrometria de emissão atômica ICP-OES do CENA/USP.

Para fazer o cálculo da quantidade de nutrientes erodidos no ano, via solo e água, foi considerada a média das concentrações químicas dos eventos anteriores e posteriores para os eventos onde não foi feita a análise química do material erodido. Calculou-se a perda anual de nutrientes pela soma das perdas das 20 coletas de erosão ocorridas.

2.2.6 Balanço nutricional no primeiro ano de cultivo do eucalipto

Para realizar um balanço nutricional, entre as entradas e as saídas de nutrientes no primeiro ano de cultivo do eucalipto, foram calculadas as entradas de nutrientes via fertilização e precipitação, e as saídas de nutrientes no solo erodido, na enxurrada e pela remoção dos resíduos.

Durantes os três primeiros meses de 2005 foram coletadas amostras da água da chuva para fazer análises químicas de macro e micronutrientes. As análises foram feitas utilizando o método de Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), segundo a descrição de Giné (1998).

A estimativa das perdas de nutrientes no solo erodido e na enxurrada está descrita no item 2.2.5, e as estimativas da remoção de nutrientes via remoção de resíduos se baseia em valores médios de *E. grandis* em SP (GONÇALVES, 2004).

2.2.7 Análise estatística

Para as variáveis estimadas apenas uma vez, ou analisadas independentemente por período, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) tendo bloco, intensidade de preparo e manejo de resíduo como fatores principais. Estas variáveis foram: erosão observada, erosão estimada pelas equações por período, erosão estimada pela equação global, volume mobilizado de solo (VMS), índice de copa (ICOP), cobertura do solo (COBM), Altura e DAP das árvores, e biomassa total por hectare (BIO).

Para a erosão observada, uma análise de variância (ANOVA) específica foi efetuada, considerando bloco, intensidade de preparo e manejo de resíduos como fatores principais, e o período como fator repetido no tempo.

Não se observou interação significativa entre os fatores intensidade de preparo e manejo de resíduo para nenhuma variável analisada, sendo apresentados diretamente os resultados médios por fator.

Todas as variáveis foram analisadas através do pacote estatístico SAS[®] 8.1 (2001), sendo o teste de comparação de médias, Tukey, utilizado ao nível de 5% de significância para controle do erro tipo I.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Efetividade dos métodos de preparo de solo utilizados

2.3.1.1 Volume mobilizado de solo

Os resultados da Área Mobilizada de Solo (AMS) e do Volume Mobilizado de Solo (VMS) para os 6 tratamentos e fatores utilizados, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Área mobilizada de solo (AMS) e volume mobilizado de solo (VMS) nos tratamentos

Sigla	Fator preparo	Fator resíduo	AMS	VMS	Umidade do solo
			m²	m³ ha⁻¹	cm³ cm⁻³
MAS	coveamento manual	sem resíduo	0,18	58,50	0,28
MAC	coveamento manual	com resíduo	0,14	46,44	0,28
MES	coveamento mecânico	sem resíduo	0,27	134,17	0,29
MEC	coveamento mecânico	com resíduo	0,30	149,85	0,31
SUS	subsolagem a favor do declive	sem resíduo	0,32	1070,0	0,28
SUC	subsolagem a favor do declive	com resíduo	0,32	1082,3	0,29
¹DMS			0,16	236,54	-
Fator preparo		MA	0,15 b	52,47 b	-
		ME	0,29 a	142,01 b	-
		SU	0,33 a	1.076,20 a	-
¹DMS			0,09	135,86	-
Fator resíduo		com	0,25	426,21	-
		sem	0,26	420,90	-
¹DMS			0,09	417,72	-

¹ DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$), valores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si

A área mobilizada de solo com o coveador mecânico e a subsolagem a favor do declive foram semelhantes, 0,29 e 0,33 m² respectivamente, enquanto o preparo com cova manual foi 50% inferior, com apenas 0,15 m². Nota-se assim, que o coveamento mecanizado é um método tão eficaz quanto a subsolagem para o desenvolvimento pós-plantio da muda no campo, porém com menor risco erosivo pois prepara menor volume de solo do que a subsolagem (142 *versus* 1076 m³ ha⁻¹, respectivamente). Já o preparo manual mostra-se o mais restritivo ao crescimento pós-plantio, com os menores valores de volume mobilizado de solo.

Assim, as intensidades de preparo de solo implementadas foram de fato contrastantes, havendo diferença estatisticamente significativa entre o sistema com coveamento e com subsolagem: coveamento manual (52,4 m³ ha⁻¹), coveamento

mecânico ($142,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e subsolagem ($1076,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). A presença ou não do resíduo não interferiu no volume mobilizado de solo.

2.3.2 Erosão observada pelo método da parcela padrão

Na Tabela 5 são apresentados os dados de erosão observada na parcela padrão durante os três períodos de avaliação, e na Tabela 6 são apresentados os resultados do escoamento superficial.

Tabela 5 – Erosão observada nas oito parcelas padrão dos tratamentos MAC e SUS, e na parcela padrão testemunha (TES), e precipitação nos períodos e total

Sigla	Fator preparo	Fator resíduo	Bloco	Erosão Observada (Mg ha^{-1})			Total Ano
				Período 1	Período 2	Período 3	
MAC	coveamento manual	com resíduo	1	0,06	0,01	0,00	0,07
			2	0,15	0,04	0,00	0,19
			3	8,80	0,16	0,20	9,16
			4	0,13	0,05	0,00	0,18
			Média	2,29	0,07	0,05	2,40
			¹ $s_{(x)}$	2,18	0,03	0,05	2,25
SUS	subsolagem a favor do declive	sem resíduo	1	9,72	5,97	1,77	17,46
			2	21,90	6,82	1,38	30,10
			3	2,71	1,48	0,03	4,22
			4	0,06	0,01	0,01	0,08
			Média	8,60	3,57	0,80	12,96
			¹ $s_{(x)}$	4,88	1,67	0,46	6,81
TES	sem preparo	sem resíduo	4	4,96	0,42	5,50	10,88
Precipitação(mm)				306	300	754	1.360

1 – $s_{(x)}$ = desvio padrão da média

Tabela 6 – Escoamento superficial em porcentagem da precipitação (%) nas 8 parcelas padrão dos tratamentos MAC e SUS, e na parcela padrão testemunha (TES)

Sigla	Fator preparo	Fator resíduo	Bloco	Escoamento Superficial (%)			Total Ano
				Período 1	Período 2	Período 3	
MAC	coveamento manual	com resíduo	1	0,72	0,17	0,05	0,23
			2	1,34	0,28	0,28	0,52
			3	8,47	2,98	4,17	4,87
			4	0,48	0,22	0,13	0,23
			Média	2,75	0,92	1,16	1,46
			¹ S _(x)	1,91	0,69	1,01	1,14
SUS	subsolagem a favor do declive	sem resíduo	1	2,77	3,42	1,03	1,95
			2	5,17	5,66	0,55	2,72
			3	2,62	1,67	0,23	1,08
			4	0,96	0,24	0,08	0,31
			Média	2,88	2,75	0,47	1,52
			¹ S _(x)	0,87	1,17	0,21	0,51
TES	sem preparo	sem resíduo	4	9,66	3,51	4,49	5,44
Precipitação (mm)				300	306	754	1.360

1 - S_(x) = desvio padrão da média

Nota-se que a variabilidade da área experimental foi muito grande para a perda de solo e o escoamento superficial, como pode ser observado nas Figuras 8 e 9. Isto se deve, provavelmente, às variações das características do solo (porosidade total, teor de argila, compactação do solo, densidade), microrelevos e declividade que ocorreram entre as parcelas experimentais na área de estudo (Tabela 1).

Figura 8 – Erosão observada nas parcelas padrão, valores médios por tratamento e por período (parcela TES sem repetição)

Figura 9 – Escoamento superficial observado nas parcelas padrão, valores médios por tratamento e por período (parcela TES sem repetição)

A análise de variância para a erosão observada entre os dois tratamentos (MAC e SUS), quando efetuada separadamente por período, não identifica diferença significativa entre os tratamentos devido a alta variabilidade entre as repetições. Contudo, quando se considera a repetição por período há clara indicação de diferença entre os tratamentos (Tabela 7), com a erosão anual superior para o SUS ($12,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) comparado ao MAC ($2,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Por se tratar de ensaio com alta variabilidade natural entre parcelas experimentais, a escolha do nível de significância poderia inclusive ser adotada como sendo de 7,5 ou 10% (³ORTEGA, comunicação pessoal)

Tabela 7 – Probabilidade do teste F em acusar diferença significativa entre os tratamentos MAC e SUS

Causa da variação	ANOVA			ANOVA Todos
	Período 1	Período 2	Período 3	
MAC x SUS	0,37	0,13	0,22	0,07

Em levantamento de Bertoni e Lombardi (1985) em 75 perfis dos principais solos do estado de São Paulo, foram indicados valores de tolerância de perdas de solo levando em consideração sua profundidade e algumas propriedades do solo consideradas essenciais para o estabelecimento de padrões limites de tolerância de perdas de solo. Para o Argissolo Vermelho-amarelo distrófico, orto com textura média argilosa, semelhante ao solo encontrado na região do estudo, os autores encontraram amplitudes de tolerância de perdas de solo variando de $5,2$ a $7,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Desta forma, utilizando como padrão de tolerância de perdas de solo para a área de estudo o valor de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (limite inferior de Bertoni e Lombardi, 1985), os tratamentos MAC e SUS foram contrastantes com relação à conservação do solo, sendo que o tratamento com subsolagem a favor do declive sem resíduos (SUS) mostrou tendência de apresentar perdas de solo acima da tolerância estimada como aceitável ($12,9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), sendo assim uma prática de preparo de solo menos conservacionista do que o coveamento manual com resíduos (MAC), que apresentou perda de $2,4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, inferior ao limite de tolerância.

³ORTEGA. Comunicação por telefone em 13 setembro 2005.

A perda de solo diminuiu com o passar do tempo nos tratamentos MAC e SUS, mesmo com a precipitação no período 3 tendo sido de 754 mm. No entanto, na parcela sem cultivo e sem preparo de solo (TES) houve aumento da perda de solo com o aumento da precipitação no período 3. Este resultado demonstra que as maiores perdas de solo ocorrem logo após o preparo de solo e quando a floresta está na fase inicial do seu estabelecimento e antes do fechamento do dossel, havendo necessidade de neste período serem adotados métodos adequados de preparo de solo. Para o escoamento superficial a tendência foi a mesma da perda de solo.

Os resultados observados na parcela padrão foram, na média, similares aos resultados de Lima (1988) para o primeiro ano de cultivo de *E. grandis* em Areia Quartzosa na região de São Simão-SP. Contudo, a amplitude de variação dos resultados de Lima (1988) foram menores do que as observadas no presente trabalho, devido à maior heterogeneidade do solo e microrelevo em áreas declivosas.

Cardoso (2003) em um Argissolo moderadamente rochoso com plantio de eucalipto com 2 anos de idade, implantado com cova manual na região de Aracruz-ES, mensurou a erosão com parcela padrão em uma área com 28,8% de declividade, e observou uma perda de solo de $2,38 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor semelhante ao observado para o tratamento MAC no presente estudo ($2,40 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

Brito (2004) avaliando a erosão na fase inicial de um plantio de eucalipto em Latossolo Vermelho Distrófico, com 17,6% de declividade e preparado com cova manual, na região de Guanhães-MG, observou, pelo método da parcela padrão, uma perda de solo de $1,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 14 meses de avaliação. Este valor é inferior ao observado para o tratamento MAC no presente estudo, devido a menor declividade da parcela e também às melhores características físicas do Latossolo com relação ao Argissolo da área experimental.

A Figura 10 ilustra uma comparação entre a amplitude dos resultados da perda de solo pelo método da parcela padrão obtidos em outros estudos, em comparação com os resultados observados neste trabalho.

Figura 10 – Amplitude da erosão observada pelo método da parcela padrão comparando os resultados da área experimental (9) com os resultados citados em 8 referências (1 e 2 – SILVA et al., 1992 apud MARTINS 2003; 3 e 4 – BONO et al., 1994; 5 – LIMA, 1988; 6 – HERNANI et al., 1987; 7 – MARTINS et al., 2003; 8 – CARDOSO, 2003)

A grande variabilidade é inerente aos estudos de avaliação da erosão, tendo em vista a alta variação de solos que ocorrem em uma mesma região e também às características de microrelevo das áreas declivosas. Demonstra-se assim a necessidade de repetição das parcelas experimentais para avaliar melhor esta grande variação, obtendo assim um dado que pode ser utilizado de forma mais segura para a tomada de decisão operacional.

Neste trabalho, mesmo com a alta variação dos valores de perda de solo observados dentro dos tratamentos, nenhuma observação foi eliminada nas análises estatísticas efetuadas, buscando assim obter valores médios que incluam a amplitude de variação observada para as condições da área experimental.

Assim, os resultados observados nas parcelas padrão indicam que a probabilidade de erosão é maior com a subsolagem do que com o coveamento. Isto não significa dizer que sempre que é feita a subsolagem a erosão é maior e que com o coveamento ela é menor, mas somente indica que a probabilidade de ocorrer erosão na subsolagem é maior do que no coveamento.

2.3.3 Equações de estimativa da erosão

2.3.3.1 Correlação de Pearson

Antes de processar a regressão linear múltipla, analisou-se a correlação de Pearson para as variáveis independentes. O resultado desta análise encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de correlação de Pearson entre as variáveis independentes a serem usadas no modelo preditivo de erosão, destacando, em negrito, as com alta correlação

	VMS	DECL	COB	RES	ARG	PT
VMS	-	0,05(ns)	0,01(ns)	-0,95(**)	0,12(ns)	0,42(*)
DECL		-	-0,02(ns)	0,04(ns)	0,47(*)	0,40(ns)
COB			-	-0,02(ns)	-0,00(ns)	0,03(ns)
RES				-	-0,15ns	-0,48(*)
ARG					-	0,84(**)
PT						-

ns: não significativo($P>0,05$); *: significativo($P<0,05$); **:significativo($P<0,01$)

Pela Tabela 8 foi possível verificar que os seguintes fatores são altamente correlacionados: teor de argila (ARG) e porosidade total do solo (PT); volume mobilizado de solo (VMS) e quantidade de resíduos por ha (RES); quantidade de resíduos (RES) e porosidade total (PT); ARG e declividade da parcela (DECL). Assim, optou-se por reter as variáveis de maior facilidade de mensuração no campo, ou seja, ARG e VMS. Todos os índices dos pinos (PVAR, PABS, PVAX, PABX) foram altamente correlacionados, restando-se então apenas o PVAR.

2.3.3.2 Equação preditiva da erosão por período, modelo por período

Para a equação preditiva por períodos foi feita uma regressão linear múltipla para cada período, considerando na análise todas as 8 parcelas padrão instaladas nos tratamentos MAC e SUS.

Na regressão linear múltipla para o período 1 (0-2 meses), as variáveis que possibilitaram o melhor ajuste foram: cobertura do solo (CBM), e a média da variação dos pinos (PVAR). A equação para estimar a erosão no período 1, em Mg ha⁻¹, através da medição, em cm, dos pinos foi:

$$y = 24,59542 + 5,97129 x_1 + 2,36411 x_2 \quad N=8 \quad r^2 = 0,70 \quad (P=0,04) \quad (8)$$

Onde: y = ln da erosão estimada no período 1, x₁ = ln CBM (cobertura do solo pela copa do eucalipto, em m² m⁻²), x₂ = PVAR (média das medidas de todos os pinos, em cm, considerando o sinal da mudança de superfície).

Para o período 2 (3-7 meses), a variável utilizada no melhor ajuste foi PVAR. A equação para estimar a erosão no período 2, em Mg ha⁻¹, através da medição, em cm, dos pinos foi:

$$y = - 5,45833 + 10,49305 x \quad N=8 \quad r^2 = 0,63 \quad (P=0,01) \quad (9)$$

Onde: y = ln da erosão estimada no período 2, x = PVAR (cm)

Para o período 3 (7-12 meses) a variável utilizada no melhor ajuste foi o VMS (volume mobilizado de solo, em m³ ha⁻¹). A equação para estimar a erosão no período 3 em Mg ha⁻¹ através da medição, em cm, dos pinos foi:

$$y = - 1,40864 - \frac{266,40642}{x} \quad N=8 \quad r^2 = 0,50 \quad (P=0,05) \quad (10)$$

Onde: y = ln da erosão estimada no período 3, x = VMS (m³ ha⁻¹)

2.3.3.3 Equação preditiva da erosão por período, modelo global

Foi feita também uma regressão linear múltipla para o primeiro ano do estudo, sem separar as variáveis em três períodos, utilizando desta forma a análise das 24 observações e incluindo-se a variável precipitação do período.

Nesta equação global as variáveis que obtiveram a melhor correlação foram o VMS, a cobertura do terreno pela copa do eucalipto (CBM), e o teor de argila do solo (ARG), conforme descrito na equação abaixo:

$$y = 2,94178 - \frac{193,09394}{x_1} - 1,38717 x_2 - 0,18545 x_3 \quad (11)$$

$$N=24 \quad r^2 = 0,63 \quad (P<0,001)$$

Onde: y = ln da erosão estimada, x_1 = VMS ($m^3 \text{ ha}^{-1}$), x_2 = ln CBM ($m^2 \text{ m}^{-2}$), x_3 = ARG (teor de argila do solo, em %)

A variável dos pinos que foi utilizada no modelo por períodos foi a PVAR (média das medidas de todos os pinos em cm considerando o sinal da mudança de superfície, Tabela 9), sendo que ela foi importante nos dois períodos iniciais, mas não foi considerada no último período nem na equação do modelo global, onde foram mais importantes as variáveis de preparo, de cobertura do solo e do teor de argila.

Desta forma os pinos foram utilizados nos períodos onde ocorreram as maiores perdas de solo (período 1 e 2), quando as perdas diminuíram eles não foram utilizados e as outras variáveis se tornaram mais relevantes para estimar a erosão.

2.3.3.4 Comparação entre valores observados de erosão e estimados pelos modelos preditivos

O valor da erosão observada nas parcelas padrão, os valores da variável dos pinos utilizada (PVAR), e as estimativas da erosão pelos dois modelos preditivos estão apresentados na Tabela 9 e 10.

Tabela 9 – Erosão observada e erosão estimada pelos modelos por período e global para as 8 parcelas padrão, em todos os períodos, e valores do índice dos pinos (PVAR) utilizados nos modelos

Bloco	Tratamento	¹ PVAR	Erosão observada parcela padrão	Erosão estimada modelo período	Erosão estimada modelo global
N	Sigla	cm	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Período 1					
1	MAC	0,19	0,06	0,02	1,10
2	MAC	0,23	0,15	1,29	0,84
3	MAC	0,15	8,80	1,17	0,99
4	MAC	-0,06	0,13	0,36	0,02
1	SUS	-0,78	9,72	3,31	18,21
2	SUS	0,21	21,90	21,19	9,57
3	SUS	-1,59	2,71	2,81	8,07
4	SUS	-0,77	0,06	0,16	1,95
Período 2					
1	MAC	0,20	0,00	0,03	0,11
2	MAC	0,12	0,04	0,02	0,15
3	MAC	0,33	0,17	0,13	0,29
4	MAC	0,32	0,05	0,12	0,00
1	SUS	0,73	5,97	9,36	5,35
2	SUS	0,33	6,82	0,14	2,69
3	SUS	0,61	1,49	2,48	4,00
4	SUS	0,06	0,00	0,01	0,24
Período 3					
1	MAC	-0,07	0,00	0,00	0,00
2	MAC	-0,59	0,00	0,00	0,01
3	MAC	-0,14	0,20	0,00	0,01
4	MAC	-0,13	0,00	0,00	0,00
1	SUS	-0,77	1,78	0,19	0,35
2	SUS	-0,55	1,38	0,19	0,26
3	SUS	-0,79	0,03	0,18	0,39
4	SUS	-0,51	0,01	0,20	0,02

1 – variação média de todos os pinos da parcela

Tabela 10 - Erosão mensurada e estimada nos tratamentos utilizados no estudo

Bloco	Tratamento	Erosão: Parcela padrão	Modelo períodos	Modelo global
N	Sigla	----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----		
1	MAC	0,07	0,06	0,61
2	MAC	0,19	1,30	0,50
3	MAC	9,16	1,30	0,65
4	MAC	0,18	0,48	0,01
Média		2,40	0,79	0,44
¹ S _(x)		2,25	0,31	0,15
1	SUS	17,46	12,86	11,95
2	SUS	30,10	21,52	6,26
3	SUS	4,22	5,47	6,23
4	SUS	0,08	0,37	1,11
Média		12,96	10,06	6,39
¹ S _(x)		6,81	4,60	2,21

1 – desvio padrão da média

A relação entre a erosão observada na parcela padrão e as erosões estimadas pelos dois modelos pode ser observada na Figura 11.

Figura 11 - Relação entre a erosão observada na parcela padrão e a estimada pelos modelos

Os modelos utilizados tendem a subestimar os valores de erosão, sendo que o mesmo ocorreu no estudo feito por Cardoso (2003) utilizando o método dos pinos, onde a mudança na superfície calculada pelo modelo matemático proposto, obteve valores menores do que a perda de solo observada na parcela padrão.

2.3.4 Erosão estimada por tratamento

Para estimar a erosão em todos os tratamentos experimentais (24 parcelas) foram utilizados os dois modelos, o modelo por período (equações 8 a 10), e o modelo global (equação 11), pois ambos estimaram as perdas com a mesma tendência da erosão observada, ou seja erosão SUS > erosão MAC (Tabela 10).

Os resultados do efeito dos tratamentos na erosão do solo no local de estudo para o período de março de 2004 a fevereiro de 2005 são apresentados na Tabela 11, de acordo com os modelos utilizados.

Tabela 11 - Resultados da erosão hídrica do ano estimada pelos modelos por período e global

Sigla	Fator preparo	Fator resíduo	Mod. períodos	Mod. global
			----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----	
MAS	coveamento manual	sem resíduo	3,78	0,64 b
MAC	coveamento manual	com resíduo	0,79	0,44 b
MES	coveamento mecânico	sem resíduo	3,28	2,15 b
MEC	coveamento mecânico	com resíduo	7,20	3,07 b
SUS	subsolagem a favor do declive	sem resíduo	10,05	6,39 ab
SUC	subsolagem a favor do declive	com resíduo	4,26	13,60 a
¹ DMS			11,38	7,67
Fator preparo		SU	7,16	10,01a
		ME	5,24	2,61 b
		MA	2,28	0,54 b
¹ DMS			6,43	4,33
Fator resíduo		S	5,71	3,06
		C	4,08	5,72
		¹ DMS	4,31	2,91

1 - DMS = diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$), e valores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si

Devido a alta variabilidade encontrada na área experimental. Não houve diferença significativa entre os tratamentos, para a erosão estimada pelo modelo por período, e também não houve diferença significativa para o efeito do fator preparo e do fator resíduo. Contudo houve uma tendência de com o aumento da intensidade de preparo aumentar a perda de solo, e de com a presença do resíduo haver uma diminuição na perda de solo.

Para a erosão estimada pelo modelo global a variabilidade dos dados foi menor e houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os tratamentos SUC e SUS apresentaram maior erosão estimada que os demais tratamentos. Também houve diferença significativa para o fator preparo, onde a subsolagem a favor do declive foi superior aos demais métodos de preparo. Contudo, não houve efeito do fator resíduo. Nesta estimativa foi mantida a tendência de com o aumento da intensidade de preparo aumentar a erosão.

Comparando os valores de erosão estimados com a tolerância de perdas de solo estimada para a área de estudo, que é de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, observa-se que na estimativa de erosão por períodos os tratamentos SUS e MEC ficaram acima do limite de tolerância, e na estimativa pelo modelo global o tratamento SUC e SUS ficaram acima desse limite.

Os resultados da estimativa da erosão pelo método do pino neste estudo foram semelhantes aos obtidos por Cardoso (2003) pelo seu modelo matemático proposto, onde os valores de perda de solo com relação a parcela padrão foram subestimados.

2.3.5 Dendrometria do *Eucalyptus*

2.3.5.1 Desenvolvimento inicial

Os resultados do desenvolvimento inicial do *E. grandis* por tratamento são apresentados na Tabela 12, e nas Tabelas 13 e 14 os resultados estão tabulados pelos fatores preparo e resíduos, respectivamente.

Para a maioria das variáveis as maiores diferenças ocorreram no período inicial do crescimento da floresta, aos 3 e 6 meses de idade. Para a altura, a diferença entre o tratamento com o maior (SUS) e menor (MAC) valor foi de 20 e 22% respectivamente nestas idades. Esta diferença diminuiu a partir da idade de 9 meses, quando as diferenças não foram mais significativas, e nesta idade a diferença entre eles foi de 13%, chegando a 8% aos 12 meses, quando também não houve mais diferença estatística para a altura.

O efeito do fator resíduo, para as condições do estudo no primeiro ano do plantio, foi de que as parcelas com resíduo apresentaram os menores valores para as variáveis analisadas. No entanto estas diferenças são de no máximo 9%, e acredita-se que desaparecerão com o tempo (Tabela 14). Além disso diversas pesquisas tem demonstrado que a retirada dos resíduos causa redução da produtividade da floresta no final do ciclo ou ao longo das rotações (GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES et al., 2002a; GONÇALVES, et al. 2004), pois os resíduos atuam como uma fonte de nutrientes de liberação lenta para o ecossistema e também aumentam a matéria orgânica na camada superficial do solo. Desta forma, a pequena diferença na produtividade observada ao final do primeiro ano não justificaria a retirada dos resíduos, nesta região.

Tabela 12 – Desenvolvimento do *E. grandis*, clone VCP041, por tratamento durante o período de estudo

Tratamento	Idade (meses)			
	3	6	9	12
Cobertura m² m⁻²				
MAS	0,04 ab	0,14 b	0,71	0,91
MAC	0,03 b	0,12 b	0,68	0,93
MES	0,04 ab	0,15 ab	0,74	0,95
MEC	0,04 ab	0,13 b	0,66	0,85
SUS	0,05 a	0,18 a	0,83	0,94
SUC	0,03 ab	0,14 b	0,68	0,95
¹ DMS	0,02	0,04	0,17	0,22
ICOP (m²)				
MAS	0,15 ab	0,47 b	3,21	7,44 ab
MAC	0,12 b	0,42 b	3,03	7,33 ab
MES	0,18 ab	0,52 ab	3,48	7,86 ab
MEC	0,16 ab	0,46 b	3,05	7,02 b
SUS	0,20 a	0,63 a	3,73	8,00 a
SUC	0,13 ab	0,45 b	3,17	7,70 ab
¹ DMS	0,07	0,15	0,80	0,86
Altura (m)				
MAS	0,54 ab	0,87 ab	2,67	5,63
MAC	0,51 b	0,83 b	2,57	5,51
MES	0,58 ab	0,91 ab	2,85	5,82
MEC	0,55 ab	0,86 ab	2,63	5,48
SUS	0,61 a	1,01 a	2,91	5,96
SUC	0,51 b	0,83 b	2,69	5,71
¹ DMS	0,10	0,16	0,41	0,61
DAP (cm)				
MAS				4,75
MAC				4,55
MES				4,98
MEC				4,52
SUS				5,13
SUC				4,79
¹ DMS				0,64
Biomassa total (kg ha⁻¹)				
MAS	94,72	378,67 b	3631,73	13678,16 abc
MAC	74,45	327,63 b	3416,61	13140,72 bc
MES	118,71	425,49 ab	3993,38	14725,04 ab
MEC	104,56	362,42 b	3414,13	12629,11 c
SUS	138,03	526,30 a	4393,92	15232,16 a
SUC	84,70	361,05 b	3572,85	14149,57 abc
¹ DMS	58,82	143,06	1120,53	1983,44

1 - Diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$), e valores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si

Tabela 13 - Resultados do desenvolvimento do *E. grandis*, clone VCP041, pelo fator preparo no período de estudo

Fator preparo	Idade (meses)				Referência
	3	6	9	12	%
Cobertura m² m⁻²					
MA	0,03	0,13 b	0,69	0,92	100
ME	0,04	0,14 ab	0,70	0,90	98
SU	0,04	0,16 a	0,75	0,95	103
¹ DMS	0,01	0,02	0,01	0,12	
ICOP (m²)					
MA	0,13	0,45 b	3,11	7,38	100
ME	0,17	0,49 ab	3,26	7,44	101
SU	0,17	0,54 a	3,45	7,85	106
¹ DMS	0,04	0,08	0,45	0,49	
Altura (m)					
MA	0,52	0,85	2,62	5,57	100
ME	0,57	0,88	2,74	5,65	101
SU	0,56	0,92	2,80	5,83	104
¹ DMS	0,06	0,09	0,23	0,35	
DAP (cm)					
MA				4,65	100
ME				4,75	102
SU				4,96	107
¹ DMS				0,36	
Biomassa total (kg ha⁻¹)					
MA	84,55	353,11 b	3524,12	13409,43 b	100
ME	111,60	393,89 ab	3703,75	13677,02 ab	102
SU	111,36	443,64 a	3983,42	14690,47 a	109
¹ DMS	33,26	80,88	633,43	1121,33	

1 - Diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$), e valores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si

Tabela 14 - Resultados avaliação do *E. grandis*, clone VCP041, pelo fator resíduo no período final do estudo

Avaliação	Fator resíduo	Idade (meses)		Referência
		9	12	
Cobertura m² m⁻²	com	0,68 b	0,91	100
	sem	0,75 a	0,93	102
	¹ DMS	0,06	0,08	
ICOP (m²)	com	3,07 b	7,35 b	100
	sem	3,47 a	7,77 a	106
	¹ DMS	0,30	0,32	
Altura (m)	com	2,63 b	5,57 b	100
	sem	2,81 a	5,80 a	104
	¹ DMS	0,15	0,23	
DAP (cm)	com		4,62 b	100
	sem		4,95 a	107
	¹ DMS		0,24	
Biomassa total (kg ha⁻¹)	com	3467,85 b	13306,45 b	100
	sem	4006,43 a	14544,84 a	109
	¹ DMS	424,43	751,25	

1 - Diferença mínima significativa (Tukey, $P=0,05$), e valores seguidos da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si

Com relação a variável biomassa total da parte aérea do eucalipto (folhas, galhos, lenho, casca), nas idades de 3 e 9 meses não houve efeito significativo do fator preparo nos tratamentos. Aos 6 e 12 meses houve diferença entre os três fatores de preparo, onde com o aumento da intensidade de preparo houve um aumento na produção de biomassa (Figura 12).

Figura 12 – Biomassa total da parte aérea por tratamento no período de estudo. Fator preparo: MA = coveamento manual, ME = coveamento mecânico, SU = subsolagem a favor do declive. Fator resíduo: C = com resíduo, S = sem resíduo

A Figura 12 mostra o efeito positivo da subsolagem e da ausência dos resíduos. O efeito da subsolagem se deve ao maior volume mobilizado de solo (VMS) neste sistema de preparo, possibilitando melhores condições físicas para o crescimento inicial do sistema radicular das mudas, corroborando assim os demais estudos que verificaram o efeito positivo do preparo de solo no crescimento do eucalipto (SUITER FILHO et al., 1980; FINGER et al. 1996; NZILA et al., 1997). No entanto, não houve diferença estatística entre o coveamento mecanizado e a subsolagem (Tabela 13). Quanto ao efeito negativo da presença do resíduo no crescimento, este fato pode estar ocorrendo em função da competição por nutrientes, em especial N e P, que são utilizados pelos microrganismos do solo no processo de decomposição dos resíduos que por ventura tenham sido incorporados ao solo na operação de preparo, diminuindo assim a disponibilidade destes elementos para o eucalipto. Este processo é temporário e sua duração é determinada pela relação C/N e C/P do material vegetal. Em se confirmando esta suposição, um pequeno aumento na adubação de base ou cobertura poderia eliminar este efeito.

2.3.6 Relação entre erosão e desenvolvimento inicial do eucalipto

Um dos objetivos deste estudo foi identificar a existência de um preparo de solo que aumente o desenvolvimento inicial da floresta sem comprometer a conservação do solo. Para verificar este efeito é necessário relacionar a perda de solo com o crescimento da floresta. Para tanto foi elaborada a Figura 13 relacionando a variável biomassa total da parte aérea aos 12 meses de idade (produtividade), e a erosão estimada pelos dois modelos (sustentabilidade), por períodos e global, para interpretar a dualidade entre produção e conservação do solo.

Figura 13 – Relação entre a biomassa total da parte aérea aos 12 meses (produtividade) e a perda de solo estimada pelos modelos por períodos e global (sustentabilidade), para os tratamentos estudados

Considerando como limite de tolerância de perda de solo o valor de $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e como um valor adequado de produtividade inicial aos 12 meses o valor de 12 Mg ha^{-1} , e plotando estes limites de produtividade e perda de solo no gráfico obtemos quatro quadrantes, onde o almejado é que o resultado do manejo seja obter biomassa superior ao limite estipulado (12 Mg ha^{-1}) e com perdas de solo inferiores ao limite de

tolerância estimado ($5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o que ocorre no quadrante superior esquerdo do gráfico (Figura 13).

Esta condição é plenamente atendida para todos os tratamentos, excetuando-se a subsolagem sem resíduos (SUS), para a equação por períodos, e a subsolagem com resíduos (SUC), para a equação global. Por outro lado, o coveamento mecânico e a subsolagem sem resíduos, apresentaram os maiores valores de biomassa. Isto indica que o coveamento mecanizado é um preparo de solo adequado para possibilitar o rápido crescimento inicial do eucalipto, pois prepara uma área mobilizada de solo (AMS) similar a da subsolagem, sem contudo preparar um maior volume mobilizado de solo (VMS) que é prejudicial para a conservação do solo em áreas declivosas.

A diferença entre a biomassa do tratamento com coveamento mecânico e, com e sem resíduos (MEC e MES), não se deve ao fator preparo de solo, uma vez que o volume mobilizado de solo foi similar nos dois sistemas, mas sim ao fator resíduo. Este efeito se deve, provavelmente, a competição por N e P pelos microrganismos do solo, como já citado anteriormente no processo de decomposição dos resíduos, podendo, provavelmente, este efeito ser diminuído através do aporte destes nutrientes via fertilização mineral.

2.3.7 Estimativa de perdas de nutrientes por erosão

Os resultados da estimativa de perda de nutrientes por erosão são apresentados na Tabela 15. Estes dados são referentes às análises químicas das amostras de solo e água amostrados nos tanques coletores e de sedimentação das parcelas padrão.

Tabela 15 – Estimativa média da perda de nutrientes erodidos na água e solo por tratamento para o período de estudo com a precipitação de 1.360 mm

Tratamento	¹ Erosão	² ES	MO	³ N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	mm	----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----					
SOLO								
MAC	2,40	-	124,49	4,82	0,04	0,84	2,57	0,39
SUS	12,96	-	573,67	22,20	0,13	1,58	3,43	1,19
⁴ TES	10,90	-	551,21	21,33	0,09	1,11	2,80	0,76
ÁGUA								
MAC	-	19,86	-	0,32	0,05	5,83	5,20	0,80
SUS	-	20,67	-	0,59	0,04	1,85	2,82	0,27
⁴ TES	-	73,98	-	2,91	0,14	6,99	11,89	1,66
Total MAC				5,14	0,09	6,67	7,77	1,19
Total SUS				22,79	0,17	3,43	6,25	1,46
Total TES				24,24	0,23	8,10	14,69	2,42

1 - Erosão observada na parcela-padrão; 2 - Escoamento Superficial; 3 - N do solo foi estimado como sendo 3,87% da MO em função do teor de C e relação C/N na MO, e o N da água foi a soma de todas as formas analisadas (NO₃, NO₂, NH₄); 4 - parcela Testemunha, sem preparo, sem resíduo e sem cobertura vegetal

Para o solo erodido os nutrientes mais removidos com a erosão foram, em ordem decrescente: N > Ca > K > Mg > P. Houve tendência do tratamento cova manual com resíduos (MAC) ter menor perda de nutrientes do que no tratamento subsolagem sem resíduos (SUS). Além disso o SUS aproxima-se da parcela sem preparo e sem resíduo (TES) que apresentou máxima erosão para N e P.

De maneira geral pode ser observado que o solo erodido é ligeiramente mais fértil do que o solo original (CTC média do solo original de 106 e do solo erodido de 120 mmolc kg⁻¹) mas com o mesmo teor de matéria orgânica. Este enriquecimento se deve ao fato da erosão ocorrer na camada superficial do solo (camada de 0-5 cm).

Com relação aos resultados da análise da água do escoamento superficial a perda de nutrientes foi, em ordem decrescente: Ca > K > N > Mg > P, não havendo diferença significativa entre os tratamentos.

Considerando o valor total de nutrientes erodidos por ano, na água e no solo, a perda de nutrientes foi, em ordem decrescente: $N > Ca > K > Mg > P$, sendo que 60% dos nutrientes foram perdidos no solo, e a maior perda foi de N (50% do total). A perda de N e Ca somadas representam mais de 77% da perda total de nutrientes, sendo que estes elementos são também os mais exportados pelo *Eucalyptus*.

Os valores de perda de nutrientes na água do escoamento superficial e no solo foram um pouco superiores aos valores encontrados por Lima (1988) em um plantio de eucalipto em Areia Quartzosa na região de São Simão-SP. Contudo, foram inferiores aos valores do estudo de Alárcon e Prado (1990), em plantio de *Pinus*.

De maneira geral, houve uma tendência de aumentar a perda de nutrientes pela erosão com o aumento da intensidade de preparo de solo.

2.3.8 Balanço nutricional para o primeiro ano

Os resultados da entrada de nutrientes na área do experimento via precipitação e fertilização, e um balanço nutricional com relação aos nutrientes erodidos no primeiro ano de cultivo do eucalipto, e retirados com a remoção dos resíduos da área, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Entrada de nutrientes na área do experimento, e balanço nutricional com relação aos nutrientes erodidos e retirados durante o período de estudo

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----				
Entrada					
Precipitação	0,50	0,27	0,35	0,41	0,14
Fertilização	80,67	22,42	61,63	107,00	52,20
Total	80,89	22,71	62,00	107,44	52,35
Perdas erosão					
Perdas nutrientes - MAC	5,14	0,09	6,67	7,77	1,19
Perdas nutrientes - SUS	22,79	0,17	3,43	6,25	1,46
Perdas nutrientes - TES	24,24	0,23	8,10	14,69	2,42
¹Perdas resíduos					
	402,56	40,80	153,68	471,92	69,36

1 - Valores obtidos com base proporcional em estudo de Gonçalves et al. (2004) em um plantio de *E. grandis*, aos 7 anos, (IMA de 30m³ ha⁻¹ ano⁻¹) onde a biomassa de serapilheira e resíduos de colheita foi de 38,9 Mg ha⁻¹.

A maior parte dos nutrientes adicionados na área experimental vieram da fertilização, e menos de 1% dos nutrientes foram adicionados pela precipitação. Evidencia-se assim a importância da fertilização para o sistema, pois sem ela o solo é exaurido não só pela exportação pelo cultivo como também pela erosão hídrica. Mesmo no sistema mais conservacionista (MAC) onde as perdas de nutrientes foram menores, estas perdas pela erosão foram maiores do que a entrada de nutrientes via precipitação.

O fator resíduo afetou muito pouco o desenvolvimento inicial da floresta (Tabela 14), porém teve alto impacto no balanço nutricional do sistema (Tabela 16), de forma que não é recomendável a retirada dos resíduos para não comprometer a sustentabilidade do sítio em termos da fertilidade do solo e de sua conservação.

3 CONCLUSÕES

O estudo do efeito de diferentes métodos de preparo de solo na erosão hídrica, estimada com base nos métodos da parcela padrão e dos pinos, e no desenvolvimento inicial do *Eucalyptus* em áreas declivosas, utilizando três intensidades de preparo (cova manual, cova mecânica e subsolagem a favor do declive) e dois manejos de resíduos (com e sem resíduo) ao longo de 12 meses, com quatro repetições, permite concluir que:

Erosão observada nas parcelas padrão:

O preparo com subsolagem a favor do declive em área sem resíduo foi um método mais erosivo do que o coveamento manual com resíduo, com valores médios de 12,96 e 2,40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente ($P = 0.07$);

As variabilidades encontradas dentro destes dois tratamentos foram elevadas (variando de 0,08 a 30,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para a subsolagem sem resíduo, e de 0,07 a 9,16 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para o coveamento manual com resíduo), evidenciando a importância do uso de repetições em estudos de erosão em áreas declivosas;

Em ambos tratamentos, houve significativa redução da erosão com o passar do tempo, totalizando 0,05 (MAC) e 0,80 (SUS) Mg ha⁻¹, entre o 9º e o 12º mês de idade, enquanto a parcela testemunha perdeu 5,50 Mg ha⁻¹ no mesmo período. Devido ao desenvolvimento da cobertura do terreno pela copa das árvores,

Perda de solo estimada pelos modelos preditivos de erosão:

Os modelos preditivos de erosão só retiveram a variável dos pinos nos primeiros 8 meses do crescimento, quanto as erosões foram de maior magnitude;

Os modelos por período e global apresentaram a mesma tendência de estimar maior erosão no tratamento com subsolagem a favor do declive (7,16 e 10,01 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente), seguidos do coveamento mecanizado (5,24 e 2,61 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), e do manual (2,28 e 0,54 Mg ha⁻¹ ano⁻¹);

Para o modelo global apenas variáveis locais foram retidas, de forma que a expectativa de erosão é menor com a redução do volume de solo mobilizado, com o aumento da cobertura do solo pelas copas, e com o aumento do teor de argila no solo.

Desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis*:

A biomassa aérea do *Eucalyptus* aumentou com o maior volume de solo mobilizado, que atingiram 52 m³ ha⁻¹, 142 m³ ha⁻¹ e 1076 m³ ha⁻¹, para o coveamento manual, mecânico e subsolagem, respectivamente;

No entanto, não houve diferença estatística para a biomassa, com um ano de idade, entre o coveamento mecanizado, com 13,7 Mg ha⁻¹, e a subsolagem, com 14,7 Mg ha⁻¹;

A presença dos resíduos de colheita, 52,9 Mg ha⁻¹, reduziu levemente o crescimento do eucalipto, de 14,7 para 13,4 Mg ha⁻¹, ao final do 1º ano, devido provavelmente a sua mineralização, uma vez que não houve efeito dos resíduos sobre o volume de solo mobilizado;

Perdas de nutrientes erodidos no solo e na água:

O solo carregou cerca de 60% dos nutrientes via erosão, e mesmo no tratamento mais conservacionista, com coveamento manual e com resíduo, estas perdas suplantaram a entrada via chuva. A ordem das perdas totais pela erosão hídrica (solo e água) foi: $N > Ca > K > Mg > P$;

Assim, a subsolagem a favor do decliva apresentou perdas de solo acima do limite de tolerância para a região, sendo portanto uma prática não recomendada de preparo de solo nas condições do estudo, enquanto o coveamento mecânico pode ser identificado como o preparo de solo que mais aumentou o crescimento da floresta sem comprometer em demasia a conservação do solo.

Desta forma, ponderando-se os ganhos de crescimento inicial e as perdas erosivas esperadas, identifica-se para o sítio como o melhor método de preparo de solo o uso de coveamento mecanizado com a manutenção dos resíduos.

Finalmente, retomando as hipóteses iniciais do estudo, verifica-se que:

A Hipótese i (preparo mais intensivo do solo aumenta a erosão) foi corroborada;

A Hipótese ii (preparo mais intensivo de solo favorece o crescimento inicial do *E. grandis*) também foi corroborada;

A Hipótese iii (manutenção dos resíduos florestais diminui a erosão) foi rejeitada para as condições do estudo;

A Hipótese iv (existência de um preparo mais intensivo que possibilite aumento do crescimento da floresta, sem aumento da erosão) foi corroborada pela identificação do coveamento mecanizado, com manutenção do resíduo.

REFERÊNCIAS

ALARCÓN, C.A.; PRADO, J.A. Efecto del manejo de los residuos de explotación de *Pinus radiata* en los procesos de erosión. **Ciencia e Investigación Forestal**, Santiago, v. 4, n. 1, p. 36-48, 1990.

BASSMAN, J.H. Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted *Picea engelmannii* x *glauca* seedlings. **Canadian Journal of Forest Research**, Victoria, v.19, p. 1359-1370, 1989.

BENTIVENHA, S.R.P. **Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo**. 2001. 60 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M.; SASAKI, C.M. Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.588-605, 2003.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Embasamento técnico do programa estadual de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F.; DRUGWICH, M. I. (Ed.). **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas, 2ª impressão: CATI, 1994. 15p.

BERTONI, J.F.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livro Ceres, 1985. 392 p.

BERTONI, J.F.; LOMBARDI NETO, L. **Conservação do solo**. São Paulo : Icone, 1990. 355 p.

BONO, J.A. **Sistemas de melhoramento de pastagens nativas visando aumento de produtividade e conservação do solo**. 1994. 95 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. **Aptidão agrícola das terras de São Paulo**. Brasília: BINAGRI, 1979. 117p.

BRITO, L.F. **Erosão hídrica de latossolo vermelho distrófico típico em área de pós-plantio de eucalipto na região de Guanhões (MG)**. 2004. 78 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CARDOSO, D.P. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. 2003. 103 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

CASTRO, O.M. **Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas para milho e soja**: Relatório Técnico Anual. Campinas: IAC, 1988. 23p.

CASTRO, O.M. Preparo do solo para culturas anuais. In: BERTONI, J.F. (Ed.). **Manual Técnico de manejo e conservação de solo e água**: tecnologias para aumentar a cobertura vegetal e a infiltração de água no solo. Campinas: Manual CATI n.40, 1994, cap. 3, p.61-87.

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

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

COGO, N.P. Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1988, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1988. p. 251-262.

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**, Campinas, v.27, p.743-753, 2003.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In.: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Part 1. Madison.: ASA, SSSA, 1965. p. 545-567. (Agronomy Monography, 9).

ESALQ/USP. **Laboratório de química para fins de levantamento de solos**. Disponível em: <<http://www.solos.esalq.usp.br/lablevant.html>>. Acesso em: 14 set. 2005.

EVA, H.D. et al. **A vegetation map of south america**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002. 35 p.

ESTADOS UNIDOS. **Global change research information office**. Disponível em: <<http://www.gcric.org/geo/soil.html>>. Acesso em: 23 mar. 2001.

FAO. **La erosion del suelo por el agua**: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Roma, 1967. 207 p.

FAO. **Waterhshed management field manual**: road design and construction in sensitive watersheds. Rome, 1989. 218 p.

FERNANDES, H.C.; SOUZA, A.P. Compactação de solos florestais: uma questão para estudo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.3, p.387-92, jul./set. 2001.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; GRAS, J.M.; FONTURBEL, T.; CUIÑAS, P.; DAMBRINE, E.; ALONSO, M. Soil erosion after *Eucalyptus globulus* clearcutting: differences between logging slash disposal treatments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.195, p. 85-95, 2004.

FINGER, C.A.G. **Ein beitrag zur ertragskund von *Eucalyptus grandis* und *Eucalyptus saligna* in sudbrasilien**. Wien: Universitat fuer Bodenkultur, 1991. 138 p.

FINGER, C.A.G; SCHUMACHER, M.V.; SCHNEIDER, P.R.; HOPPE, J.M. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.6, n.1, p.137-145, nov. 1996.

FIRME, D.J.; SOUZA, J.L.; RIBEIRO, R.S.; MIGLIORINI, A.J.; BERTOLOTI, G. Preparo de solos em áreas acidentadas. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 159, p.5, 1988.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: 2. ed Madison: ASA, SSSA, 1986. p. 383-423. (Agronomy Monography, 9).

GINÉ, M.F. **Espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES)**. Piracicaba: CENA, 1998, 148 p. (Série Didática 3).

GLEASON, C.H. Reconnaissance methods of measuring erosion. **Journal of Soil and Water Conservation**, Fairmont, v.12, p.105-107, 1957.

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC e Fundação IAC, 1996. p.245-259.

GONÇALVES, J.L.M.; POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; SERRANO, M.I.P.; MELLO, S.L.M.; MENDES, K.C.F.S.; JORGE, L.A.C. **Efeito de práticas de cultivo mínimo e intensivo do solo sobre a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, configuração do sistema radicular e nutrição mineral de povoamentos de *Eucalyptus grandis***. Piracicaba, 1997. 94p. (Relatório Final de Pesquisa, FAPESP, processo nº 1994/4248-4)

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.1-57.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.) **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002a. cap.3, p.133-204.

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, 2002b. cap.2, p. 47-129.

GONÇALVES, J.L.M.; GAVA, J.L.; WICHERT, M.C.P. Sustainability of wood production in eucalypt plantations of Brazil. In: NAMBIAR, E.K.S.; RANGER, J.; TIARKS, A.; TOMA, T. (Ed.). In: **WORKSHOPS IN CONGO**, 2001. **Site management and productivity in tropical plantation forests**: workshops in Congo, July 2001 and China, February 2003. Bogor: CIFOR, 2004, chap.1, p.3-14.

GRACE III, J.M.; WILHOIT, J.; RUMMER, R.; STOKES, B. **Surface Erosion Control Techniques on Newly Constructed Forest Road**. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING (Ed.). Phoenix: ASAE, 1996. 14p.

GREY, D.C. Principles and elements of monitoring in mountain catchment areas: Soils and Erosion. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 144, p. 47-51, mar. 1988.

GROHMANN, F.; CATANI, R.A. O empobrecimento causado pela erosão e pela cultura algodoeira no solo do arenito Bauru. **Bragantia**, Campinas, v.9, p.125-132, 1949.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Madison: SSSA Book Series, n. 5. 2002. pt 4: Physical methods. p. 201-226.

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

HERNANI, L.C.; SAKAI, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I.F. Influência de métodos de limpeza do terreno sob floresta secundária em Latossolo amarelo do Vale do Ribeiro, SP: II. Perdas por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.215-219, 1987.

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

HUSCH, B.; MULLER, C.; BEERS, T.W. **Forest Mensuration**. New York: John Wiley. 1982. 402p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. v. 1. São Paulo, 1981. 94p.

KALESNIK, S.V. The present state of landscape studies. **Soviet Geography**, Moscow, v.2, n.2, p.24-33, 1961.

KIDD, W. J.; MEGAHAN, W. F. Effect of logging roads on sediment production rates in the Idaho Batholith. **USDA Forest Service INT Research Paper**, Ogedn, Utha, n. 123, p.1-14, 1972.

KRONKA, F.J.N., et al. Mapeamento e quantificação do reflorestamento no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v.6, n.14, p.19-27, jan.2003

LAL, R. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: LAL R. (Ed.). **Soil erosion research methods**. Netherlands : Soil and Water Conservation Society, 1988. Chap. 1. p.1-9.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL R. (Ed.) **Soil erosion research methods**. Netherlands : Soil and Water Conservation Society. 1988. Chap. 8. p.182-208.

LEMOS, R.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: Sociedade brasileira de ciência do solo, 1984. 48p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, v.1, p.227-294, 1985.

LIMA, W.P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, Piracicaba, n.38, p5-16, 1988.

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

LOMBARDI NETO, F; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais...** Recife: SBSC, 1980. p. 13.

MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P. Impacto ambiental das estradas florestais no ecossistema: Causas e controle. **Boletim Técnico Sociedade de Investigações Florestais**, Viçosa, n.1, p.1-12, mai. 1990.

MALUF, J.L.P. **Efeito da queima, métodos de preparo do solo e da adubação no crescimento de *E. camaldulensis* em areia quartzosa.** 1991. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

MARQUES, J.Q.A. Determinação de perdas por erosão. **Archivo Fitotécnico del Uruguay**, Montevideo, v.4, n.3, p.505-556, 1951.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J.; GROHMANN, F. Determinação de perdas por erosão em São Paulo, de 1943 a 1953. In: 2º CONGRESSO PANAMERICANO DE AGRONOMIA, 1954, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1954. p.1-33

MARTINS, S.G. **Modelagem da erosão hídrica para florestas plantadas de eucalipto na região dos tabuleiros costeiros, município de Aracruz (ES).** 2005. 113 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURTI, 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**, Campinas, v.27, p.395-403, 2003.

McEVOY, T.J. Commonsense erosion control. **American Forests**, Washington, v.95, n.5/6, p.32-40, mai./jun, 1989.

McNABB, D.H.; GAWEDA, F.; FROEHLICH, H.A. Infiltration, water repellency, and soil moisture content after broadcast burning a forest site in southwest Oregon. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.44, n.1, p.87-90, 1989.

MEGAHAN, W.F. Reducing Erosional Impacts of Roads. In: **FAO Conservation Guide: Guidelines for Watershed Management.** Rome: FAO, 1977. chap. 14, p. 237-261.

MEXICO. Colegio de Postgraduados. **Manual de conservación del suelo y del agua.** Mexico: SAHR, 1977. 574p.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation.** 2.ed. In: DAVIDSON, D.A. (Ed.). New York: Longman Scientific & Technical, 1986. 298 p.

NEARING, M.A.; LANE, L.J.; LOPES, V.L. Modeling soil erosion. In: LAL R. (Ed.) **Soil erosion research methods**. Chap. 6. p.128-156, 1988.

NZILA, J.D.; BOUILLET, J.P.; HAMEL, O. Influence of litter management and soil preparation on the growth of an *Eucalyptus* replantation in the Congo. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.3, p. 246-251.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A.R.; MAFRA, R.C.; SILVA, A.B. Práticas conservacionistas e as perdas por erosão na cultura do milho isolado e consorciado no sertão do Pajeú (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.69-72, 1990.

OYARZUN, C. Características físicas y químicas de los sedimentos erosionados desde suelos con plantaciones forestales. **Bosque**, Valdivia, Chile, v.15, n.2, p.31-38, 1994.

POGGIANI, F.; STAPE, J.L. **Uso de biossólidos produzidos nas estações de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo em plantações florestais**. Piracicaba: FEALQ; ESALQ, Depto. de Ciências Florestais, 2003. 100 p. Relatório técnico semestral 12/48 do Projeto de Pesquisa No. 9.215/01 apresentado à SABESP, São Paulo.

POYTON, R.J. Research the silviculture of *Eucalyptus grandis* (saligna) in the northern Transvaal. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v.55, p.10-20, 1965.

ROGERS, H.T. Plant nutrients losses by erosion from a corn, wheat, clover rotation on Dummore silt loam. **Soil Science Society American Procidures**, Madison, v.6, p.263-271, 1941.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas e melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (epialico) dos Campos da mantiqueira (MG)**. 1993. 99 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1993.

SÃO PAULO. Atlas pluviométricos do Estado de São Paulo (período: 1941-1970). Secretaria dos Serviços e Obras Públicas. Departamento de Águas e Energia Elétrica. 1972. 84p. Mapas.

SAS 8.1. SAS Institute Inc. Carry, NC, 2001. CD-ROM.

SASAKI, C.M. **Força de tração e desempenho operacional de hastes subsoladoras em solos com diferentes texturas e umidade.** 2000. 53 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SASAKI, C.M. **Desempenho operacional de um subsolador em função da estrutura, do teor de argila e de água de três latossolos.** 2005. 82p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen bestaenden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globules* (Labillardiere) in Rio Grande do Sul, Brasilien.** (Tese de Doutorado) Wien: Universitaet fuer Bodenkultur. 1995. 164p.

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. cap.9, p.313-350.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **BHBRASIL – Balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras.** Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/bhbrasil/BHBRASIL/BHBRASIL.DOC>> Acesso em: 15 set. 2005.

SILVA, L.L.; SCHNEIDER, P.R.; ELTZ, F.L.F. Influência dos resíduos da colheita da floresta de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) sobre as perdas de água e solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p.43-53, 1998.

SILVA, C.R.; CAMARGO, F.R.A.; JACOB, W.S.; IJIMA, J. Preparo de 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. cap. 6. p.313-350.

SOUZA, C.R. **Avaliação de diferentes coberturas do solo no controle da erosão em taludes de estradas florestais.** 2000. 90p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SOUZA, A.J. Preparo de solos coesos para cultura do eucalipto no extremo sul da Bahia. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 8. p.297-311.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. Slash-burning and fertilization strongly affect canopy development and the developmental stages of Eucalyptus clonal plantations. In: CSIRO EUCPROD MEETING, 1. **Anal.**... Hobart, Austrália: CSIRO, 2002b, p.82-83

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, 2002a. cap.7, p.259-296.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; LOMBARDI NETO, V.F. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. **Stab. Açúcar, Álcool e Subproduto**, Piracicaba, v.1, n.3, p.1-19, n.3, jan.-fev. 1983.

SUITER, W.; REZENDE, G.C.; MENDES, C.J.; CASTRO, P.F. Efeitos de diversos métodos de preparo de solo sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* plantado em solos com camadas de impedimento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.90, p.1-9, fev,1980.

VEIGA, M.; WILDNER, L.P. **Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelo**. Chile: EPAGRI – FAO, 1993. 34 p.

VERDOLIN, H.; PORTO, R.P.; KNAPPER, C.F.U. **Medição direta da erosão laminar em solos agrícolas pelo método de hastes metálicas**. Brasília: Ministério da Agricultura, Secr. de Produção Agropecuária (SNAP). 1980. 18 p.

VITAL, A.R.T. **Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. 1996. 106 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STREK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.763-774, 2004.

WALKEY, 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.