

SANDRA REGINA CAVICHIOLO

**PERDAS DE SOLO E NUTRIENTES POR EROÇÃO HÍDRICA EM
DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO EM PLANTIO DE
*Pinus taeda***

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Roberto Malinovski

Co-orientador: Dr. Renato Antônio Dedecek

**CURITIBA
2005**

AGRADECIMENTOS

- Em primeiro lugar, a Deus.
- Aos meus pais e demais familiares, especialmente a minha irmã Rosane pelo apoio e incentivo em todos momentos da minha vida.
- Ao professor Dr. Jorge Roberto Malinovski pela oportunidade de ingressar neste Programa de Pós – Graduação e orientação na realização deste trabalho.
- Ao Dr. Renato Antônio Dedecek pesquisador da Embrapa Florestas, pela orientação, paciência e sugestões que contribuíram para o desenvolvimento desta tese.
- Aos funcionários do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Florestas e aos funcionários do Laboratório de Física e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, pelas sugestões e pelo auxílio prestado durante a execução das análises.
- Ao técnico florestal Jacir Faber pela colaboração nas amostragens de campo, sugestões e boa vontade.
- A RIGESA/Meadwestvaco, pelo apoio econômico permitindo que este trabalho pudesse ser efetuado, a toda equipe técnica, especialmente ao engenheiro florestal Marco Britto, pelas informações prestadas demonstrando interesse e boa vontade durante todas as fases do trabalho de pesquisa.
- Aos companheiros de pós-graduação: Carla Maria Camargo Correa e Rodrigo Zagonel pela colaboração em diferentes etapas deste trabalho, e principalmente pelos momentos de descontração que tanto serviram de estímulo nas horas difíceis.
- A todos os amigos que sempre tiveram uma palavra de incentivo, “paciência como ouvintes” e estiveram sempre presentes dando apoio diante das dificuldades, enfim

peessoas, com quem sempre é possível contar. Em especial : Cristina Barcik, Ionete Hasse, Idene Maria Moletta, Márcia Joana Negrelli e Paulino Takao Sakai.

- A CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudos.
- Enfim, a todos os professores, técnicos e funcionários que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivos Gerais.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 HIPÓTESES.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 HISTÓRICO DO PREPARO DO SOLO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS.....	5
2.2 MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIOS FLORESTAIS.....	6
2.2.1 Método de Preparo do Solo Convencional.....	6
2.2.2 Cultivo Mínimo.....	7
2.2.2.1 Manejo dos resíduos no cultivo mínimo.....	9
2.3 FATORES DETERMINANTES PARA A ESCOLHA DOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO DE USO FLORESTAL EM RELAÇÃO À EROSÃO.....	11
2.3.1 Condições Climáticas.....	11
2.3.2 Relevo.....	11
2.3.3 Profundidade Efetiva.....	12
2.3.4 Textura do Solo.....	12
2.3.5 Compactação do Solo.....	13
2.3.6 Fertilidade e Cobertura do Solo.....	14
2.4 A EROSÃO DO SOLO.....	14
2.4.1 Tipos de Erosão Hídrica do Solo.....	15
2.4.2 Fatores Determinantes da Erosão.....	16
2.4.3 Métodos de Avaliação da Erosão.....	18
2.4.4 Efeitos Causados pela Erosão Hídrica do Solo.....	18
2.5 OPERAÇÕES DE LIMPEZA DO TERRENO E PREPARO DO SOLO PARA O PLANTIO FLORESTAL E SEUS EFEITOS EM RELAÇÃO A EROSÃO HÍDRICA.....	21
2.6 EFEITOS DOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO EM SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS.....	25
2.6.1 Densidade do Solo.....	26
2.6.2 Porosidade Total.....	28
2.6.3 Conteúdo de Água Disponível no Solo.....	29

2.6.4	Condutividade Hidráulica do Solo.....	29
2.6.5	Resistência Mecânica do Solo.....	30
2.7	MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DE FLORESTAS PLANTADAS.....	32
2.8	MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO EM FLORESTAS PLANTADAS E SEUS EFEITOS NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES.....	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	MATERIAL.....	39
3.1.1	Localização e Clima das Áreas Experimentais.....	39
3.1.2	Geologia Local.....	39
3.1.3	Solos.....	40
3.1.4	Descrição das Operações de Colheita e Preparo do Solo nas Áreas Seleccionadas	41
3.1.5	Descrição dos Tratamentos Testados em Cada Localidade	41
3.2	METODOLOGIA	42
3.2.1	Instalação dos Experimentos.....	42
3.2.2	Medição da Precipitação Pluviométrica.....	44
3.2.3	Determinação das Perdas de Solo, Água e Nutrientes pela Erosão	44
3.2.4	Quantificação dos Resíduos de Colheita em cada Tratamento.....	46
3.2.5	Análises Químicas e Granulométricas da Camada Superficial de Solo (0 – 4 cm)	47
3.2.6	Análises Físicas do Solo.....	47
3.2.6.1	Densidade do solo	47
3.2.6.2	Porosidade total.....	48
3.2.6.3	Microporosidade e macroporosidade.....	48
3.2.6.4	Conteúdo de água disponível.....	49
3.2.6.5	Condutividade hidráulica saturada do solo	49
3.2.7	Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	50
3.2.8	Avaliação das Plantas Depois de um Ano de Plantio.....	50
3.2.8.1	Análise Foliar.....	50
3.2.8.2	Medição de Altura.....	51
3.2.9	Análises Estatísticas.....	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....	53
4.1.1	Densidade do Solo.....	53
4.1.2	Condutividade Hidráulica Saturada do Solo.....	56
4.1.3	Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade e Conteúdo de Água Disponível.....	59
4.2	RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO.....	69

4.3 QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO (BIOMASSA SECA) NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	77
4.4 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA EM RELAÇÃO À EROÇÃO HÍDRICA.....	78
4.4.1 Precipitação Ocorrida no Período de Monitoramento nas Duas Áreas Experimentais.....	78
4.4.2 Perdas de Solo nas Duas Áreas Experimentais.....	81
4.4.2.1 Perdas de solo na área experimental de Itaiópolis.....	82
4.4.2.2 Perdas de solo na área experimental de Três Barras.....	85
4.4.3 Perdas de Água nas Duas Áreas Experimentais.....	91
4.5 ANÁLISE DO SOLO NA CAMADA ENTRE 0 – 4 cm.....	93
4.5.1 Avaliação da Camada de Solo entre 0-4 cm na Área Experimental de Itaiópolis.....	93
4.5.2 Avaliação da Camada de solo entre 0 – 4 cm na Área Experimental de Três Barras.....	95
4.6 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NO SEDIMENTO E NA ÁGUA.....	98
4.6.1 Área Experimental de Itaiópolis.....	98
4.6.2 Área Experimental de Três Barras.....	102
4.6.3 Comparação das Perdas de Nutrientes nas Duas Áreas Experimentais.....	105
4.6.4 Concentração de Nutrientes na Água.....	107
4.6.4.1 Área Experimental de Itaiópolis.....	107
4.6.4.2 Área Experimental de Três Barras.....	108
4.7 AVALIAÇÃO DOS TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E ALTURA APÓS UM ANO DE PLANTIO.....	110
5 CONCLUSÕES.....	113
6 RECOMENDAÇÕES.....	115
REFERÊNCIAS.....	117
ANEXOS.....	130

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CALHA COLETORA DE ENXURRADA E SEDIMENTOS (RODA COSHOCTON).....	43
FIGURA 2 – QUADRADO METÁLICO UTILIZADO NA QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO EM CADA TRATAMENTO.....	46
GRÁFICO 1 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	53
GRÁFICO 2 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	55
GRÁFICO 3 - VALORES MÉDIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (cm/h) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	57
GRÁFICO 4 – VALORES MÉDIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (cm/h) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	59
GRÁFICO 5 – VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL E MACROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	61
GRÁFICO 6 – VALORES MÉDIOS DE MICROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	62
GRÁFICO 7 – VALORES MÉDIOS DE CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	64

GRÁFICO 8 – VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL E MACROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS	66
GRÁFICO 9 – VALORES MÉDIOS DE MICROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	67
GRÁFICO 10 – VALORES MÉDIOS DO CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	69
GRÁFICO 11 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (MPa) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS NAS DISTÂNCIAS DA LINHA DE TOCOS – 0, 25, 50, 75, 100, 125 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	72
GRÁFICO 12 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (MPa) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS NAS DISTÂNCIAS DA LINHA DE TOCOS – 0, 25, 50, 75, 100, 125 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	75
GRÁFICO 13 – COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS VEGETAIS (BIOMASSA SECA-t/ha) POR MÉTODO DE PREPARO, PROVENIENTES DA COLHEITA NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	77
GRÁFICO 14 – PRECIPITAÇÃO (mm) E EROSIVIDADE (MJ.mm/ha/h) MENSAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO.....	79
GRÁFICO 15 – PRECIPITAÇÃO (mm) E EROSIVIDADE (MJ.mm/ha/h) MENSAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO.....	80
GRÁFICO 16 – PERDAS DE SOLO ACUMULADAS (kg/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, E EROSIVIDADE DA CHUVA ACUMULADA (MJ.mm/ha/h) EM ITAIÓPOLIS NO PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	83

GRÁFICO 17 – PERDAS DE SOLO ACUMULADAS (kg/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, E EROSIVIDADE DA CHUVA ACUMULADA (MJ.mm/ha/ano) EM TRÊS BARRAS NO PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	86
GRÁFICO 18 – PERDAS DE SOLO (t/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS DURANTE UM ANO DE AVALIAÇÃO.....	88
GRÁFICO 19 – PERDAS DE ÁGUA (mm/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS NO PERÍODO DA AVALIAÇÃO.....	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO NO MOMENTO DA AMOSTRAGEM PARA AS AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	70
TABELA 2 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO EM TRÊS BARRAS - 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE TOCOS E PROFUNDIDADE ENTRE 5 E 10 cm.....	74
TABELA 3 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA AS MÉDIAS DE PERDAS DE SOLO (kg/parcela/evento) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	85
TABELA 4 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA AS MÉDIAS DE PERDAS DE SOLO (kg/parcela/evento) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	87
TABELA 5 – TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SOLO NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO, POR MÉTODO DE PREPARO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	93
TABELA 6 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO POR MÉTODO DE PREPARO, NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	95
TABELA 7- TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SOLO NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO POR MÉTODO DE PREPARO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	96
TABELA 8 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO POR MÉTODO DE PREPARO, NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	97
TABELA 9 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	98
TABELA 10 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS.....	99
TABELA 11 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	102

TABELA 12 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS.....	103
TABELA 13 – PERDAS DE NUTRIENTES ASSOCIADAS AO SEDIMENTO EM (kg/ha/ano) NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	105
TABELA 14 – CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES (mg/L) NA ÁGUA DA ENXURRADA POR TRATAMENTO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	109
TABELA 15 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E ALTURA DAS PLANTAS NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	110

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar diferentes métodos de preparo de solo para o plantio de *Pinus taeda*, em relação ao processo de erosão hídrica, em duas áreas de reflorestamento localizadas ao Norte do Estado de Santa Catarina, com solos de texturas e declividades diferenciadas. As áreas selecionadas foram: No Município de Três Barras - Argissolo Vermelho Escuro Álico, com textura muito argilosa e declividade entre 3 e 5% e, no Município de Itaiópolis - Argissolo Vermelho Distrófico Típico com textura argilosa e declividade entre 9 e 12%. Foram quantificadas as perdas de solo e nutrientes geradas em cada método de preparo, e realizadas análises das propriedades físico – hídricas, químicas e mecânicas do solo nas duas áreas experimentais. Os métodos de preparo do solo adotados (tratamentos) foram: “Morro Abaixo”- com uso de subsolador combinado com grades no sentido do declive; “Cortando declive” – o mesmo implemento utilizado em nível; “Sem preparo”- ausência de preparo de solo ou seja, nenhum revolvimento e plantio sobre o resíduo e “Covas” – coveamento mecanizado na linha de plantio. As parcelas experimentais (tratamentos) com dimensões de 20 x 25 m foram instaladas em 2003 e avaliadas pelo período de um ano. A quantificação das perdas de solo e água dos tratamentos foi efetuada através da instalação de uma calha coletora de enxurrada (*Roda Coshocton*) na porção inferior de cada parcela. Foram encontradas diferenças significativas para a porosidade total, macro e microporosidade nas duas áreas experimentais. Nas duas localidades o método de preparo “Morro Abaixo” de forma geral manifestou as maiores perdas de solo e nutrientes. Na área experimental de Itaiópolis este tratamento manifestou perdas de solo 3,5 vezes maiores que os tratamentos “Cortando declive” e “Sem preparo” e praticamente o dobro do tratamento “Covas”. Na avaliação das propriedades físico – hídricas e resistência mecânica não foram obtidos valores considerados críticos nesta localidade. Na área experimental de Três Barras as perdas de solo no tratamento “Morro abaixo” manifestaram valores de perdas de solo cerca de 3,5 vezes em relação ao “Cortando declive”, 2,5 vezes em relação ao “Covas” e praticamente 6,5 vezes em relação à área sem preparo. Nesta localidade as propriedades físico – hídricas não mostraram valores críticos no entanto a resistência mecânica do solo manifestou diferenças significativas demonstrando compactação do solo na ausência de preparo. Na área de Itaiópolis constatou-se que o preparo do solo deve ser realizado priorizando a contenção do processo erosivo, enquanto que em Três Barras, além desta função o método de preparo do solo adotado deve levar em consideração também a preocupação com a recuperação do solo compactado.

Palavras chave: reflorestamento, erosão hídrica do solo, física do solo.

ABSTRACT

The overall objective of this work was to evaluate different soil tillage systems to planting *Pinus taeda*, related to the process of water erosion, in two plantation areas located in the northern part of Santa Catarina state, on soils of different texture and slopes. Selected areas were: Tres Barras County – Argissolo Vermelho Escuro Álico (Ultisol) with a heavy clay texture and slope between 3 and 5%, and in Itaiópolis County Argissolo Vermelho Distrófico Típico (Ultisol) with a clay texture and slope between 9 and 12%. The soil and nutrient losses from each soil tillage system were quantified and soil physical, chemical and mechanical characteristics from both areas were determined. The following soil tillage systems (treatments) were tested: “Downslope” – ripping and harrowing on the slope direction; “Contour planting” – ripping and harrowing in contour; “No tillage” – planting without soil disturbance; and “Planting spot” – mechanical digging on the planting line. The experimental plots measuring 20 x 25 m were set up in 2003 and monitored over the period of one year. Soil and water losses were quantified using a Coshocton wheel type device at the lower end of each plot. Significant differences were found for soil total, macro- and micro-porosities from both experimental areas. On both places, soil tillage system “Downslope” presented the largest soil and nutrient losses. On Itaiópolis experimental area, “Downslope” system presented soil losses 3.5 times bigger than “Contour planting” and “No tillage” systems, and twice the losses from “Planting spot” system. On this location, no critical values for soil physical and mechanical characteristics were obtained. On the Tres Barras experimental area, soil losses from “Downslope” system presented values around 3.5 times greater than those from “Contour planting” system, 2.5 times the losses presented on “Planting spot” system and almost 6.5 times the losses from “No tillage” system. On this spot, soil mechanical resistance showed significant differences due to soil compaction mainly on the reduced tillage systems. In the Itaiópolis area, it was found that soil tillage must focused on restraining the water erosive process, while on the Tres Barras area, soil tillage system most important objective should be reclaiming soil structure.

Key words: reforestation, erosion by water, soil physical characteristics

1 INTRODUÇÃO

O Programa de Incentivos Fiscais de 1965 foi responsável por uma grande expansão no setor florestal. A área plantada foi aumentada sem que fossem considerados os aspectos ambientais relacionados à prática da silvicultura, conseqüentemente muitos projetos florestais não apresentaram os resultados esperados ou mesmo resultaram em experiências negativas tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, levando muitos produtores e ambientalistas a condenarem a prática da silvicultura, principalmente de monoculturas como o eucalipto (COUTO; DUBÉ, 2001).

Atualmente é grande a preocupação da silvicultura brasileira, fortemente embasada no plantio de pinus e eucalipto, em conduzir as florestas de maneira adequada visando sua sustentabilidade, reduzindo impactos ambientais e gerando renda capaz de mudar o quadro de pobreza verificado em muitas propriedades rurais. Para ressaltar a importância sócio-econômica do setor florestal, pode-se destacar que este propicia emprego para 500 mil pessoas de forma direta e para cerca de dois milhões de trabalhadores indiretamente, participando com 4% do PIB (Produto Interno Bruto), equivalente a US\$ 21 bilhões e responsabilizando-se por 8% das exportações (SBS, 2004). Além disso, a importância dos aspectos ambientais deve ser considerada, uma vez que o plantio de árvores para abastecer a indústria de papel e celulose, móveis, siderurgia a carvão vegetal, painéis e chapas contribui de forma significativa para reduzir a pressão sobre as florestas nativas.

Os ecossistemas onde geralmente estão estabelecidas a maioria das plantações florestais são sensíveis às perturbações antrópicas em função de razões como: ocorrência de plantações em relevo acidentado; solos com baixa fertilidade natural e grande parte das plantações estabelecidas em antigas áreas agrícolas degradadas.

Entre as diversas maneiras pelas quais os solos de uso agrícola e/ou florestal podem perder sua capacidade produtiva, destaca-se a erosão do solo

provocada pela água das chuvas, denominada de erosão hídrica. A deposição dos sedimentos arrastados no processo erosivo provoca elevação das cotas de inundação pela redução da capacidade de escoamento dos canais, além de interferir na vida aquática poluindo cursos d'água, reservatórios e lagos naturais.

Segundo BLEY JR (2004) perdas anuais de solo por erosão hídrica em áreas agrícolas alcançam valores médios de 13,4 toneladas/hectare/ano, podendo elevar-se até 100 ou 200 toneladas/hectare/ano somente no estado do Paraná. CORRÊA (2005) destaca também as perdas de nutrientes, com base nos sedimentos transportados e avaliação quantitativa dos elementos, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Com base nestes valores e considerando o preço dos fertilizantes, é possível calcular o custo que representa o carreamento do solo.

As perdas de solo geradas pela erosão hídrica são amplamente discutidas no setor agrícola, no entanto, considerando as áreas ocupadas pelos plantios de *Pinus* e *Eucalyptus spp* no Brasil, de 1,8 e 3,0 milhões de hectares respectivamente segundo dados da SBS (2004), as perdas de solo por erosão ainda são pouco conhecidos no setor florestal. Neste setor as atividades que contribuem para acelerar o processo erosivo são: 1) colheita mecanizada quando realizada de forma inadequada gerando compactação do solo, conseqüentemente comprometendo a infiltração de água e promovendo maior volume de enxurrada; 2) locação inadequada da rede viária com problemas associados à captação, condução e deságüe concentrado de enxurrada em determinados pontos do terreno, ocasionando erosão laminar ou em sulcos e até mesmo voçorocas na própria estrada ou em talhões adjacentes; 3) métodos de preparo do solo inadequados, onde ocorre revolvimento excessivo do solo, associando solos susceptíveis à erosão a períodos de altas precipitações pluviométricas.

As operações de preparo do solo para o plantio visam criar condições adequadas para o rápido desenvolvimento das mudas, melhorando a estrutura do solo e eliminando a competição com plantas invasoras por água, luz e nutrientes. O

preparo pode apresentar também a função de recuperação do solo quando este está compactado alterando importantes propriedades físico-hídricas do mesmo, favorecendo a infiltração da água e conseqüentemente reduzindo o processo erosivo. No entanto, se imprópriamente usado, pode agravar problemas de compactação tornando-se uma das causas principais de perdas de solo, água e nutrientes.

As críticas mais comuns ao preparo intensivo do solo em áreas florestais são em relação à elevada mineralização da matéria orgânica, exposição do solo à erosão e perda de nutrientes. Considerando aspectos de conservação dos solos a tendência atualmente é a adoção do cultivo mínimo, que prevê a realização de um preparo localizado do solo, apenas na linha ou na cova de plantio mantendo-se a maior parte dos resíduos culturais na superfície do solo e gerando menores perdas por erosão. No entanto ZEN et al. (1995) destacam a necessidade da constante busca da melhoria deste sistema operacional e de informações que proporcionem um melhor conhecimento para o manejo correto dos solos para uso florestal, visando aliar a eficiência técnica e redução de impactos ambientais à economicidade, resultando no aumento ou manutenção da produtividade florestal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral analisar comparativamente diferentes métodos de preparo do solo em relação à erosão hídrica, para o plantio de *Pinus taeda* em duas localidades, com solos de textura e declividades diferenciadas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram:

- 1) Avaliar os efeitos dos diferentes métodos de preparo do solo em relação a algumas propriedades físicas e mecânicas para os solos de texturas e declividades distintas;

2) Quantificar as perdas de solo, água e nutrientes gerados pela erosão hídrica para diferentes métodos de preparo do solo em solos distintos;

3) Avaliar o crescimento em altura até o primeiro ano de idade, de mudas de *Pinus taeda* em cada método de preparo de solo empregado, em dois solos distintos;

4) Quantificar e analisar o teor de nutrientes nas acículas das plantas com um ano de idade, considerando solos diferenciados e diferentes métodos de preparo.

1.2 HIPÓTESES

1) Diferentes métodos de preparo do solo para o plantio de mudas florestais alteram propriedades físicas e mecânicas de solos de texturas e declividades distintas, de forma diferenciada;

2) As perdas de solo, água e nutrientes gerados por erosão hídrica apresentam comportamento distinto em função do método de preparo de solo para o plantio empregado e tipo de solo, considerando textura e declividade;

3) O crescimento das plantas em altura bem como o teor de nutrientes nas acículas é diferenciado em função do método de preparo do solo para o plantio empregado e tipo de solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO PREPARO DO SOLO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS

De acordo com FONSECA (1978) os primeiros florestamentos realizados nas décadas de 60 e 70 baseavam-se nos sistemas de preparo agrícola convencionais então existentes, ou seja, abertura de áreas extensas, remoção da vegetação original, e revolvimento intensivo do solo com arados e grades. Embora este sistema tenha favorecido o desenvolvimento da silvicultura nacional, por outro lado, foram observados muitos aspectos negativos, principalmente relacionados à conservação do solo, que colocavam em risco a sustentabilidade de todo o sistema florestal (STAPE et al., 2002).

Com o passar do tempo, houve um melhor conhecimento da dinâmica de crescimento da floresta e ficaram evidenciadas as diferenças em relação aos sistemas agrícolas, adotando-se então diferentes formas de preparo do solo em silvicultura (ZEN et al., 1995). Nos anos 80 surgiu a grade *Bedding*, trazendo avanços quanto aos aspectos de operacionalidade e conservação do solo. A denominação: *Bedding* se deve às camas ou camalhões que o equipamento forma em sua passagem. Os camalhões são feitos em nível, com menor revolvimento do solo que nos equipamentos convencionais, reduzindo desta maneira os riscos de erosão. Em áreas de reforma florestal onde foi efetuado o corte raso, ela possibilita o realinhamento das linhas de plantio (em nível) e facilita a realização conjunta do preparo e da adubação de base (SIMÕES et al., 1981).

A partir da década de 90, a tendência foi o cultivo mínimo, com o objetivo de utilizar os resíduos florestais como barreira física ao escoamento de água no interior dos talhões e a eliminação das práticas de construção de terraços que aumentavam os custos da reforma dos povoamentos florestais (SANCHES et al., 1995; GAVA, 2002). Mesmo sendo considerado como um avanço expressivo na silvicultura brasileira, o cultivo mínimo apresenta suas limitações e necessita de

busca constante de melhorias (STAPE et al., 2002; ZEN et al., 1995). A escolha do sistema de preparo do solo ideal é uma tarefa bastante complexa, quanto maior for a variabilidade dos fatores do meio-físico e do material genético disponível. Nessas condições é fundamental o conhecimento técnico do solo, da planta e do clima para compreender as interações entre o seu preparo e o sítio. Torna-se importante aliar a eficiência técnica à viabilidade econômica, resultando no aumento da produtividade florestal (ZEN et al., 1995).

2.2 MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIOS FLORESTAIS

O preparo do solo consiste no conjunto de operações que antecedem ao plantio e tem por objetivo garantir a disponibilidade de quantidades suficientes de água e nutrientes para o rápido estabelecimento das mudas, através do revolvimento mais ou menos localizado do solo. Ele deve, também, eliminar plantas indesejáveis próximas das mudas florestais evitando a competição por água, luz e nutrientes (GATTO et al., 2003).

Os métodos de preparo do solo, bem como sua intensidade, variam de acordo com a espécie que deve ser plantada e sua capacidade competitiva, condições de solo, clima local e vegetação natural das áreas a serem reflorestadas (SIMÕES et al., 1981). No BRASIL, os métodos de preparo em áreas florestais variam muito, mas podem ser agrupados em duas grandes tendências: o cultivo mínimo e o convencional, desta forma, generalizações devem ser evitadas, facilitando o entendimento dos princípios de cada método para aplicá-los devidamente em cada situação específica (COSTA ET AL., 2002).

2.2.1 Método de Preparo do Solo Convencional

No cultivo convencional (intensivo), tanto na implantação da floresta como em áreas de reforma, de acordo com GONÇALVES et al. (2000) são usados o

enleiramento e a queima dos resíduos vegetais como práticas de limpeza do terreno no preparo para o plantio. As leiras são feitas com o ancinho enleirador podendo ou não ser queimadas com a finalidade de facilitar a ação dos implementos de preparo do solo. Os implementos usados nos métodos de preparo do solo intensivos são: o arado, arado reformador, grades pesada e leve, grade *bedding*, dentre outros. Quando necessário, pode ser efetuada a subsolagem de camadas de solo compactadas.

No preparo intensivo ainda são praticadas a destoca, o rebaixamento ou o encobrimento dos tocos antigos. Em áreas onde várias rotações já foram conduzidas, a presença de tocos das antigas árvores pode dificultar inclusive a adoção de cultivo mínimo, restringindo ou impossibilitando o trânsito de máquinas e implementos em várias fases da condução do plantio, e em especial na colheita mecanizada. Nestas situações, a remoção destes é realizada com frequência (GATTO et al., 2003).

MORO et al. (1988) destacam que também em função do espaçamento reduzido do povoamento anterior ou do alinhamento em desnível, torna-se necessário retirar ou rebaixar os tocos, possibilitando assim, a prática do preparo do solo. O rebaixamento é realizado rente ao solo sem a remoção do toco, normalmente com o uso de lâmina KG, visando apenas facilitar o deslocamento de tratores na área (BURLA, 2001). Na seqüência, o revolvimento do solo nas linhas de plantio é realizado com subsolador (GATTO et al., 2003).

Para as operações de revolvimento do solo para o plantio em áreas florestais em cultivo intensivo, SIMÕES et al. (1981) citam também a gradagem pesada e/ou leve ou superficial, que foram bastante utilizadas principalmente para o plantio de eucaliptos em solos arenosos e permeáveis, como nas regiões de cerrado.

2.2.2 Cultivo Mínimo

A implantação da floresta pelo cultivo mínimo se baseia na realização de operações mínimas, de maneira a propiciar a adição dos nutrientes ao solo, o plantio de mudas no campo, e o controle da matocompetição, sem, contudo causar prejuízo

ao desenvolvimento e na produtividade do povoamento florestal (ZEN et al., 1995). O preparo do solo é localizado apenas na linha ou na cova de plantio. Devido ao amplo espaçamento de plantio, geralmente entre 2,5 m a 3,0 m nas entrelinhas, o volume de solo revolvido é bem menor do que aquele realizado para as culturas anuais.

Os implementos mais usados em áreas preparadas no cultivo mínimo são o subsolador e o coveador mecânico, usado normalmente em áreas muito declivosas (forte ondulada e montanhosa) ou com muitos obstáculos físicos ao subsolador, como em áreas em reforma, com muitos tocos grossos (GONÇALVES et al. 2002). Um implemento amplamente utilizado para o preparo do solo no cultivo mínimo é o subsolador florestal multifuncional, que realiza várias operações simultaneamente: corte dos resíduos e raízes, subsolagem, adubação de base (pré-plantio) e aplicação de herbicidas pré e pós emergentes. Este implemento minimiza o uso de máquinas, gerando menos despesas e danos ao solo (GAVA, 2002).

GONÇALVES (2002) cita algumas vantagens na adoção do cultivo mínimo:

- Redução das perdas de nutrientes do ecossistema, pois sem a incorporação ou queima dos resíduos, sua mineralização e liberação de nutrientes ocorre de forma gradativa minimizando as perdas por lixiviação, volatilização e erosão;
- Manutenção ou aumento da atividade biológica do solo;
- Aumento da fertilidade do solo na camada superficial;
- Redução de invasoras, já que o banco de sementes não é movimentado, ficando sem estímulo de luz e fisicamente impedido de germinar e crescer, etc.

Como desvantagens o autor aponta:

- A heterogeneidade do crescimento inicial dos povoamentos florestais devido à decomposição mais lenta dos resíduos florestais aliada à imobilização de nutrientes pelos organismos decompositores, gerando menor disponibilidade de nutrientes para as mudas.

- Maior risco de incêndios devido a elevada quantidade de resíduos, maior incidência de pragas e doenças nos estágios iniciais de crescimento das árvores, bem como maior dificuldade no combate às formigas;
- Crescimento radicial reduzido ou deformado se houver algum impedimento físico no solo não corrigido previamente;
- Maior dificuldade de realizar tratos culturais mecanizados, dependendo da quantidade de resíduos, estes podem representar obstáculos para execução dos mesmos.

2.2.2.1 Manejo dos resíduos no cultivo mínimo

Para facilitar as operações de preparo do solo, como a passagem do subsolador e posteriormente outras práticas culturais, dependendo da quantidade e tipo de resíduos presentes na área, é necessário abaixar e picar os montes de galhos, ponteiros (parte não comercial do tronco), e cascas, dispostos sobre o solo com a finalidade de evitar embuchamentos dos implementos, aumentar a velocidade de decomposição dos resíduos lenhosos e melhorar a qualidade e rendimento de trabalho (GONÇALVES et al., 2002). Em áreas de reforma florestal, os resíduos devem permanecer sobre as linhas de tocos sufocando-os e evitando desta forma, brotações indesejáveis e ainda facilitando o preparo das entrelinhas (GAVA, 2002).

Para a trituração dos resíduos GONÇALVES et al. (2002) citam a utilização do rolo-faca, empregado para acamar e picar plantas herbáceas e resíduos arbóreos (galhos, ponteiros) de baixa resistência à quebra como os de pinus. Essa operação não gera compactação do solo e apresenta alto rendimento de trabalho.

Existem também os picadores de resíduos que atuam picando-os em pedaços pequenos e incorporando-os à camada superficial do solo. A AHWI do Brasil possui trituradores de resíduos cujo princípio de funcionamento é o mesmo das fresas industriais em que um rotor com navalhas, colocado sobre os tocos, desbasta os

mesmos, reduzindo-os a cavacos. O equipamento é usado com trator florestal de esteira tendo capacidade de atingir inclinações superiores à 25°. O rotor escalonado apresenta diferentes comprimentos em função do objetivo a ser cumprido: o comprimento de 2300 mm é utilizado para a trituração dos tocos em linha e simultaneamente faz a preparação da superfície do solo, incorporando resíduos (até 10 cm de profundidade), e o de 1400 mm, é usado para a trituração da linha de tocos após a colheita, substituindo o rebaixamento pela Lâmina KG. Esses são equipamentos que apresentam alto rendimento por área trabalhada, redução do surgimento de vegetação espontânea pela cobertura homogênea do material triturado, e pouco revolvimento do solo, favorecendo o meio biótico (AHWI DO BRASIL, 2005).

Em áreas onde o sistema silvicultural adotado é a talhadia, isto é, onde a regeneração efetua-se por via vegetativa (brotação de touças) com rotações relativamente curtas, como é o caso do eucalipto, o manejo dos resíduos também necessita de atenção especial. O manejo adequado das brotações é importante para assegurar alta produção no corte seguinte. Desta forma, os resíduos devem ser cuidadosamente distribuídos de forma que não abafem as cepas, garantindo assim, sua sobrevivência (SIMÕES et al., 1981).

GAVA (2002) destaca que o manejo do eucalipto no sistema de talhadia normalmente é feito em duas rotações, com duração aproximada de sete anos cada uma, totalizando 14 anos. Têm-se duas operações de colheita e apenas uma de preparo de solo. No final da última rotação, quando é feita a reforma florestal no cultivo mínimo, ocorre uma situação em que o solo sofre duas operações de colheita com elevado risco de compactação nas linhas de tráfego das máquinas. No caso da utilização de um subsolador monohaste nestas linhas, este atua sobre uma faixa limitada de solo, preparando-o apenas na linha de plantio, podendo manter a compactação do solo, caso ela exista. Este aspecto demonstra que o preparo do solo realizado no cultivo mínimo, nesta condição específica, pode apresentar limitações, sendo insuficiente para eliminar ou reduzir a compactação causada pelas operações

de colheita e baldeio da madeira. O autor alerta que, desta forma, devem ser tomadas precauções para evitar a compactação do solo durante as operações de colheita, tais como: tráfegar sobre as galhadas e adotar um planejamento adequado da época da subsolagem (com umidade do solo adequada) e implementos em bom estado.

2.3 FATORES DETERMINANTES PARA A ESCOLHA DOS MÉTODOS DE PREPARO DE SOLO DE USO FLORESTAL EM RELAÇÃO À EROSÃO

2.3.1 Condições Climáticas

A quantidade, distribuição e intensidade das chuvas em uma determinada região, tem grande influência na escolha do método de preparo de solo. De acordo com GONÇALVES et al. (2000) a época do verão na maior parte do país apresenta chuvas mais concentradas e com maiores intensidades, apresentando assim maior poder erosivo. Por esta razão, as práticas de preparo de solo devem ser programadas para épocas de menores índices pluviométricos, como outono e inverno, principalmente em áreas de solos com maior susceptibilidade à erosão. O autor ainda salienta que quanto maior a erosividade das chuvas e quanto mais susceptíveis à erosão forem os solos, menos se deve optar por métodos de preparo que revolvam com mais intensidade as camadas superficiais do solo.

2.3.2 Relevo

Conforme SEIXAS et al. (1996) a declividade do terreno é um fator de grande importância para o preparo do solo, inclusive determinando a possibilidade de mecanização ou não das operações. Com relação à susceptibilidade do solo à erosão em áreas situadas em declividades maiores, menor deverá ser o revolvimento e incorporação de resíduos vegetais e as áreas mais declivosas devem ser preparadas preferencialmente nos períodos de menor índice pluviométrico.

2.3.3 Profundidade Efetiva

A profundidade efetiva é a profundidade máxima que as raízes penetram livremente no perfil do solo, em número razoável, sem impedimentos, proporcionando às plantas suporte físico e condições para a absorção de água e nutrientes, nem sempre se limitando à profundidade do sólum (horizontes A+B) podendo ultrapassá-la (CURI et al., 1993).

REISSMANN (2003) destaca que os melhores crescimentos observados em *Pinus taeda*, mesmo em solo de baixa fertilidade natural, estão associados a maior profundidade efetiva e ao fornecimento de água. SANTOS FILHO e ROCHA (1987) também apontam a importância da profundidade do solo para o bom desenvolvimento dessa espécie.

2.3.4 Textura do Solo

A textura do solo refere-se à proporção relativa das frações areia, silte e argila que compõem a massa do solo, sendo uma de suas características mais estáveis e de grande importância agrícola ou florestal (OLIVEIRA et al., 1992). Este atributo é um importante fator na previsão da susceptibilidade à compactação do solo. RESENDE et al. (1992) sugerem que partículas da fração areia mais finas favorecem a compactação e retenção de umidade, ao passo que partículas de areia mais grosseiras promovem um arranjo mais solto, propiciando maior permeabilidade e menor retenção de umidade.

As relações texturais entre camadas de solo na superfície e subsuperfície são importantes para caracterizar a dinâmica da água no perfil. Camadas subsuperficiais muito argilosas podem levar à formação de argilopans que interferem no movimento de água no perfil do solo. Estes impedimentos à drenagem da água favorecem maior escoamento superficial e subsuperficial e conseqüentemente maior erosão (COSTA et al., 2002). O preparo do solo, nestas condições, deve ser realizado em épocas

menos chuvosas e com pequeno revolvimento de camadas de solo.

2.3.5 Compactação do Solo

A compactação do solo gera a redução da porosidade total do mesmo, afetando a capacidade de trocas gasosas, retenção de água e condutividade hidráulica, e aumenta a resistência do solo à penetração, ocasionando impedimento mecânico ao crescimento de raízes, afetando indiretamente muitos processos químicos e biológicos (WORRELL; HAMPSON, 1987; HAKANSSON et al., 1988; HORN et al., 1995). A redução da infiltração de água no solo contribui para um maior escoamento superficial e, conseqüentemente, maior processo erosivo. Deste modo, antes e/ou durante o preparo do solo, camadas compactadas devem ser total ou parcialmente descompactadas.

Em plantações florestais a compactação pode ser gerada na colheita florestal dependendo do tipo de maquinário empregado, ou ainda naturalmente devido ao adensamento por processos pedogenéticos, como em alguns solos que apresentam horizonte B-textural mais argiloso. A correção deste problema segundo GONÇALVES et al. (2000) pode ser efetuada através da escarificação ou subsolagem das entrelinhas de plantio.

LACEY (1993) destaca a importância da matéria orgânica, na redução do risco de compactação do solo. De acordo com o autor, maiores conteúdos presentes no solo favorecem a formação de agregados estáveis, sendo que este fato é altamente relevante em situações onde a estrutura está alterada e o subsolo está exposto. Desta forma, a opção por métodos de preparo de solo que favoreçam a manutenção dos restos de colheita sobre o solo podem evitar a compactação ou favorecer a recuperação do solo degradado.

2.3.6 Fertilidade e Cobertura do Solo

Segundo GONÇALVES et al., (2000) a baixa fertilidade do solo representa menores índices de crescimento da vegetação e, como consequência, menor proteção da superfície do solo. Considerando estes aspectos, devem ser adotadas práticas de preparo de solo menos intensivas em períodos menos chuvosos. Os autores destacam também o tipo e quantidade de cobertura do solo (resíduos de colheita florestal tais como: galhos, cascas, etc) ou vegetação rasteira. Afinal quanto menos cobertura na superfície do solo, maior será a desagregação superficial do mesmo pelo impacto das gotas de chuva e mais alta a velocidade de escoamento da enxurrada. Nestas circunstâncias é aconselhável adotar práticas de revolvimento do solo menos intensas.

2.4 A EROSÃO DO SOLO

A erosão é a forma mais importante de degradação do solo e a principal causa de esgotamento de nutrientes no sítio com implicações diretas sobre a produtividade agrícola ou florestal (HASHIM et al., 1998). Segundo BAHIA et al. (1992) existem dois tipos de erosão: normal ou geológica, que é causada por fenômenos naturais tais como a chuva e o vento, que provocam contínuas mudanças na superfície terrestre e, a erosão acelerada ou simplesmente erosão, que é causada pela interferência do homem nesse processo de modificação da crosta terrestre podendo diminuir ou, como é mais comum, acelerar sua intensidade.

A erosão causada pela ação do vento denomina-se eólica e é muito comum em áreas áridas e semi-áridas, particularmente em solos com textura grosseira e cobertura vegetal limitada (HASHIM et al., 1998). Os sinais iniciais de erosão eólica incluem a deposição das partículas de areia ao redor de plantas formando pequenas rugas na superfície das áreas expostas, sendo que o extremo final são as clássicas estruturas dunares dos desertos de areia (ANTONANGELO, 2004).

O processo de erosão hídrica começa quando as gotas de chuva atingem a superfície do solo e destroem os agregados sendo constituído de três etapas: 1) desagregação das partículas de solo; 2) transporte das partículas desagregadas; 3) deposição deste material (BAHIA et al., 1992). Neste processo, fatores como o volume e a intensidade da chuva, cobertura do solo, tipo de solo, relevo, comprimento do declive, e as práticas de cultivo, determinam se o risco de erosão é baixo, moderado ou severo (KELLY; GOMEZ, 1998). Além de diminuir o potencial de produção agrícola ou florestal do solo, os sedimentos gerados no processo erosivo causam a poluição de rios e riachos. Nos rios, o assoreamento dificulta a navegação fluvial e ainda provoca o acúmulo de resíduos e defensivos químicos. A presença de resíduos dificulta a captação e tratamento da água destinada ao abastecimento, além de prejudicar a flora e a fauna aquática e inviabilizar até mesmo a atividade pesqueira (BAHIA et al., 1992).

2.4.1 Tipos de Erosão Hídrica do Solo

GONÇALVES (2002) enumera três tipos principais de erosão: laminar, em sulcos e em voçorocas, sendo que os três podem ocorrer simultaneamente no mesmo terreno:

a) Erosão laminar: é caracterizada por remover camadas superficiais delgadas de solo devido ao fluxo de enxurrada. Arrasta primeiramente as partículas mais leves de solo (argila e silte) predominantemente em suspensão. Esta forma de erosão é de difícil percepção, sendo que, em estágios avançados além do abaixamento da superfície, podem-se observar áreas de coloração mais clara e afloramento de raízes das plantas perenes (BAHIA et al., 1992).

b) Erosão em sulco: caracteriza-se pela formação de sulcos em pequenas irregularidades do terreno, onde a enxurrada se concentra atingindo volume e velocidade suficientes para escavá-lo. É ocasionada por chuvas de alta intensidade, em terrenos íngremes e com longas pendentes e solos de alta erodibilidade.

c) Erosão em voçorocas: as voçorocas são ocasionadas por grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco e vão aumentando gerando o deslocamento de grandes massas de solo com a formação de grandes cavidades em extensão e profundidade.

BAHIA et al. (1992) ainda destacam a erosão vertical, que consiste no arrastamento de partículas em suspensão e materiais solúveis através do perfil do solo, onde características como a porosidade do solo, o grau de agregação, etc, exercem grande influência sobre a natureza e intensidade deste fenômeno.

2.4.2 Fatores Determinantes da Erosão

O processo erosivo e sua intensidade dependem principalmente das condições climáticas da região, fatores relacionados à topografia, cobertura do solo e às propriedades do mesmo, ou seja, a erosão hídrica depende da erosividade das chuvas e da erodibilidade do solo (GONÇALVES, 2002).

A erosividade da chuva é a capacidade desta em provocar erosão (ELTZ et al., 1977). LEMOS e BAHIA (1992) destacam que o potencial da chuva em causar erosão é função da quantidade, intensidade e duração da mesma. Essas características afetam o volume de enxurrada, determinando assim se o processo erosivo é maior ou menor se outros fatores (características do solo) forem considerados constantes.

A erodibilidade de um solo é definida por CURI et al. (1993) como a sua susceptibilidade à erosão. Para LIMA et al. (1992) é o efeito total de uma combinação particular das propriedades do solo, sendo altamente complexa e tornando alguns solos mais facilmente erodíveis que outros. Estes autores, citando WISCHMEIER e SMITH (1978) apontam que os atributos que mais influenciam a erodibilidade são os que afetam a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água e aqueles que conferem ao solo resistência à dispersão, ao salpicamento, à

abrasão e às forças de transporte da enxurrada.

Segundo WISCHMEIER et al. (1971) fatores como a textura representada pela proporção dos teores de areia, silte e argila, influenciam a erodibilidade do solo, sendo que existe uma tendência desta aumentar quando os teores de silte e areia fina aumentam. No entanto, teores mais elevados de argila e matéria orgânica geralmente, mas não obrigatoriamente, diminuem a erodibilidade. O teor de matéria orgânica, de acordo com GONÇALVES (2002) tem grande relação com a erodibilidade do solo. Nos solos que apresentam teores mais elevados, a capacidade de aglutinação de partículas é maior, favorecendo a capacidade de retenção de água e sua infiltração. Porém, o mesmo autor destaca que solos com teores muito elevados de matéria orgânica podem ter sua susceptibilidade à erosão aumentada devido ao tamanho pequeno dos grânulos (estrutura granular) e sua baixa densidade. Outra característica do solo importante para a determinação da erodibilidade é a estrutura do solo. Conforme LIMA et al. (1992) ela influencia a velocidade de infiltração, a resistência à dispersão, deslocamento por salpico, abrasão, as forças de transporte e escorrimento superficial.

O grau de declividade do terreno, a extensão e forma da encosta também são fatores determinantes em relação à erosão. A forma da encosta, dependendo de sua inclinação e sua curvatura, tem grande influência na convergência e/ou divergência das enxurradas. Segundo RESENDE (1985) a forma côncava da encosta favorece a convergência das águas contribuindo para um processo de erosão localizada, tendendo à formação de sulcos e voçorocas, ocorrendo a deposição de sedimentos nas partes mais baixas do terreno. A forma convexa gera a divergência das águas, favorecendo a erosão mais uniforme e laminar, não ocorrendo deposição, sendo que sementes e nutrientes são retirados do sistema.

Para GONÇALVES (2002) o grau de declive influencia diretamente a velocidade da enxurrada, sendo que, quanto maior a declividade do terreno, maior a velocidade da enxurrada e sua capacidade de transporte de partículas maiores de solo. Também quanto maior a extensão livre da encosta, maior o volume e a

velocidade da enxurrada e conseqüentemente seu poder erosivo.

2.4.3 Métodos de Avaliação da Erosão

Para a estimativa das perdas de solo e água em determinado sistema de cultivo, podem ser empregados métodos diretos (com perdas avaliadas diretamente no campo em parcelas de coleta de sedimentos) ou indiretos com base em modelos matemáticos com parâmetros definidos após intensa experimentação de campo.

Os métodos de avaliação direta contemplam a delimitação de parcelas experimentais, conjugadas com coletores de solo e água na parte mais baixa do terreno (BERTONI, 1949). Na avaliação indireta das perdas de solo destacam-se os modelos matemáticos como a Equação Universal das Perdas de Solo (EUPS) (WISCHMEIER; SMITH, 1965).

2.4.4 Efeitos Causados Pela Erosão Hídrica do Solo

O principal impacto da erosão hídrica do solo é a constante redução da produtividade do mesmo (BAHIA et al., 1992). Outro aspecto de grande relevância é que o aporte de sedimentos oriundos de áreas que sofrem erosão promove o assoreamento de rios e lagos, comprometendo a qualidade da água e alterando a vida aquática, principalmente pela eutrofização das águas (MARTINS et al., 2003).

As conseqüências da erosão hídrica do solo, conforme LAL (1998) e HARTANTO et al. (2003) são manifestadas dentro do sítio específico (*on-site*) e fora dele (*off-site*). Sendo que, *on-site*, os efeitos podem ocorrer a curto prazo, ou seja, danos imediatos sobre o crescimento das plantas, tais como: o desenraizamento de mudas, perdas de solo e água, sementes e fertilizantes transportados pela enxurrada. A longo prazo, os efeitos envolvem mudanças na qualidade do solo, impacto sobre o crescimento das plantas e produtividade futura. Os efeitos na qualidade do solo incluem: a redução da profundidade de enraizamento efetiva, redução na disponibilidade de água, diminuição do conteúdo

de carbono orgânico e exposição do subsolo com menor fertilidade (LAL, 1998). Fora do local específico (*off-site*) o autor relata que os efeitos são complexos, manifestando mudanças ambientais adversas, inundações e outros danos a estruturas civis.

O manejo inadequado do solo favorece a erosão hídrica, tendo como consequência as perdas de solo, água e nutrientes, contribuindo desta forma, para a redução de sua fertilidade. GONÇALVES (2002) define tolerância às perdas de solo como a quantidade máxima de solo que pode ser perdida por erosão, mantendo ainda o solo com níveis adequados de produtividade por um longo período de tempo. O autor, citando LOMBARDI NETO e BERTONI (1990) destaca que em geral uma perda de solo de $12,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ é tolerável para solos bastante profundos, permeáveis e bem drenados, enquanto que perdas de 2 a $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ são admissíveis em solos com camadas de impedimento físico ou solos pouco profundos. LAL (1998) considera que faltam informações sobre a tolerância às perdas de solo, principalmente para os solos ou regiões ecologicamente frágeis. Para solos intensivamente usados considera alto o valor de $11,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O autor citando trabalhos de própria autoria obteve resultados onde para solos com camadas que apresentavam restrições às raízes entre 20 para 30 cm de profundidade, a tolerância à perda de solo foi menor que $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ contrastando com a tolerância obtida para solos mais profundos e férteis onde os valores podem ser pouco maiores que $11,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Com relação às perdas de nutrientes, SHICK et al. (2000) citando diversos autores, apontam perdas significativas de nutrientes em relação ao que é exigido pelas culturas. A perda de nutrientes pode ser expressa tanto em concentração do elemento na suspensão ou no sedimento, como em quantidade perdida por área. A concentração de determinado elemento na enxurrada varia principalmente com sua concentração no solo, que é influenciada pelas fertilizações, manejo e tipo de solo (SHICK et al., 2000; BERTOL et al., 2004).

SHARPLEY et al. (1994) dão destaque ao problema ambiental causado

pelo processo de erosão hídrica, uma vez que, os nutrientes depositados nos mananciais de água de superfície, podem resultar na eutrofização dos mananciais favorecendo o alto crescimento da biota aquática.

A eutrofização das águas têm como uma de suas causas o seu nível de turbidez. Este é atribuído principalmente às partículas sólidas em suspensão, que diminuem a claridade e reduzem a transmissão da luz no meio, podendo ser provocada por plâncton, algas, e o aporte de sedimentos minerais e orgânicos, resultantes do processo de erosão ou adição de despejos domésticos ou industriais (QUIMIOAMBIENTAL, 2005). Nutrientes como o fósforo e o nitrogênio são essenciais para os processos biológicos. O fósforo é um macronutriente exigido em grandes quantidades pelas células, no entanto o excesso deste elemento conduz ao processo de eutrofização das águas naturais. De acordo com CORREL (1998) a importância do fósforo no processo de eutrofização justifica a adoção de medidas severas de controle da entrada deste elemento no ambiente aquático, considerando ainda que os níveis deste nutriente que causam eutrofização, geralmente são inferiores aos existentes no solo.

Outros elementos como cálcio e magnésio presentes na água não manifestam significância sanitária. No entanto podem ser prejudiciais no uso doméstico e industrial, em função da dureza da água. A dureza da água está relacionada diretamente com os sais de cálcio e magnésio, que provocam a formação de carbonatos quando estes estão sob a ação do calor, provocando entupimentos em tubulações, etc. (QUIMIOAMBIENTAL, 2005). O potássio de acordo com os dados da CETESB (2005) é encontrado em concentrações baixas nas águas naturais, entretanto os sais de potássio são largamente usados em fertilizantes para a agricultura entrando nas águas doces principalmente através da lixiviação de terras agrícolas. O potássio é usualmente encontrado na forma iônica e os sais são altamente solúveis. Este elemento é incorporado em estruturas minerais e acumulado pela biota aquática pois é um elemento nutricional essencial.

Outro efeito nocivo da degradação de um solo é a perda de sua capacidade

de retenção e armazenamento de água, indispensável ao desenvolvimento da vegetação. Se o solo não recebe água suficiente, a produção das culturas é reduzida ou nula. Os processos conservacionistas em sua maioria objetivam manter o solo e a água no terreno, com técnicas que visem aumentar a infiltração e evitem que a água escorra sobre a superfície sendo perdida (CORRÊA, 2005).

2.5 OPERAÇÕES DE LIMPEZA DO TERRENO E PREPARO DO SOLO PARA O PLANTIO FLORESTAL E SEUS EFEITOS EM RELAÇÃO À EROSÃO HÍDRICA

Estudos sobre erosão hídrica, com avaliações das perdas de solo dentro dos processos de produção agrícola, determinam quais práticas visam reduzir a degradação do solo para manter ou aumentar a sustentabilidade nestas atividades. No entanto, no Brasil, considerando a extensão territorial e a importância da atividade florestal, ainda são poucos os resultados sobre erosão nesse setor (CARDOSO et al., 2004).

O plantio de espécies de rápido crescimento, com alta demanda de nutrientes em curtas rotações envolve a remoção de grandes quantidades de biomassa e nutrientes, podendo conduzir ao esgotamento das reservas do solo. A capacidade de reabastecimento de nutrientes é de grande interesse nos sistemas florestais (MERINO; EDESO, 1999). Desta forma, os mesmos autores destacam que a adoção de práticas de manejo florestal adequadas são indispensáveis, já que algumas práticas favorecem a remoção de resíduos, tendo como consequência a erosão do solo e a remoção de horizontes orgânicos. Considerando que a camada de húmus tem papel importante na reserva de nutrientes, como regular a umidade do solo e sua temperatura, tais práticas podem resultar em alterações em propriedades físicas do solo e na dinâmica dos nutrientes extraídos durante a exploração da floresta.

Perturbações no solo que contribuem para o processo de erosão hídrica

podem ter início nas práticas de colheita florestal. Estas operações podem aumentar a quantidade de sedimentos além das alterações no solo e remoção de serapilheira. Neste caso, é possível causar um aumento na enxurrada e perdas de solo (FERNÁNDEZ et al., 2004).

Conforme CONSTANTINI e LOCH (2002) o período de maior risco para erosão para os plantios florestais tropicais e subtropicais concentra-se entre as rotações, ou seja, entre o corte raso e o desenvolvimento da próxima rotação, quando o solo mineral provavelmente poderá ser exposto ou perturbado.

A preparação mecânica do sítio para o novo plantio gera alterações na superfície do solo, favorecendo os processos erosivos (OLARIETA et al., 1999). O preparo intensivo do sítio florestal pode reduzir a longo prazo sua produtividade através de vários processos que incluem a compactação do solo, a lixiviação e/ou volatilização dos nutrientes, erosão, perda de matéria orgânica, etc (PYE ; VITOUSEK, 1985).

As técnicas de limpeza do terreno que antecedem o preparo do solo para o plantio, contemplando o enleiramento do resíduo e queima, são freqüentemente usadas para reduzir riscos de infestação de insetos e incêndios florestais (FERNÁNDEZ et al., 2004). No entanto, esta técnica de preparação do sítio, principalmente se conduzida em solos úmidos, favorece a desagregação da estrutura do solo. Em áreas onde ocorre raspagem do terreno, pelo uso de lâmina KG no enleiramento, ocorre o deslocamento do solo e também da serapilheira, provocando perda significativa de nutrientes. Este processo, associado à queima, pode esgotar os nutrientes em áreas contínuas. Aspectos biológicos do solo também são fortemente influenciados pelo deslocamento da serapilheira, em virtude da remoção do alimento dos microorganismos e outras mudanças em seu habitat (BALLARD, 2000).

O manejo dado ao resíduo de colheita é um fator determinante na erosão do solo. PYE e VITOUSEK (1985) apontam perdas de $0,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de solo em sítios onde o resíduo foi triturado, $3,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ onde ocorreu preparo mais intensivo com enleiramento realizado com lâmina KG e $3,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ onde ainda

foi utilizada a grade de discos para incorporação dos resíduos. Neste estudo, as avaliações de perdas de solo durante o preparo intensivo foi equivalente à remoção de 15 mm de solo para a área total preparada. PYE e VITOUSEK (1985) comparando o preparo intensivo e cultivo mínimo em relação às perdas de solo por erosão, reportam que em áreas onde foi realizada a amontoa do resíduo com lâmina e gradagem nas linhas de cultivo as perdas de solo por erosão variaram entre 4 a 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ durante um ano de avaliação, em áreas com relevo moderado. Já a mesma área, com cultivo mínimo, gerou perdas inexpressivas.

CONSTANTINI e LOCH (2002) avaliando técnicas de preparo do terreno para plantio de pinus constataram que nas áreas onde o resíduo da colheita florestal foi enleirado morro abaixo e foram feitos camalhões para o plantio das mudas no mesmo sentido, as perdas de solo e nutrientes por erosão foram bastante superiores às áreas onde o resíduo do corte da primeira rotação não foi removido. Nestas últimas, o resíduo foi distribuído cortando a declividade do terreno, reduzindo deste modo o processo erosivo. Também, conforme estudos de OLARIETA et al., (1999) o resíduo deslocado e enleirado morro abaixo ao invés de ser redistribuído no sítio favoreceu a erosão. A raspagem da camada superficial do solo reduziu a concentração de matéria orgânica e nutrientes nos horizontes superficiais. Segundo esses autores, o uso da subsolagem morro abaixo favoreceu o fluxo de água e a formação de sulcos sendo estimadas perdas de solo em torno de 150 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Outra prática bastante comum que pode contribuir para maiores perdas de solo por erosão hídrica, além de interferir na fertilidade do solo, é o uso do fogo. SOTO et al. (1995) verificaram perdas significativas de solo e nutrientes em áreas onde restos de colheita foram enleirados morro abaixo com a queima das leiras. Foram observados aumentos nas formas disponíveis dos nutrientes tais como: cálcio, magnésio e fósforo que estão diretamente relacionadas à mineralização da matéria orgânica. No entanto, o aumento da fertilidade foi observado por um período relativamente curto, depois de nove meses os autores verificaram que a fertilidade das áreas estudadas retornou aos níveis iniciais, principalmente para potássio e

fósforo, demonstrando que os benefícios a curto prazo na fertilidade do solo não são compensadores diante da extrema exposição do solo à chuva e conseqüente erosão. Efeitos da disposição dos resíduos sobre o terreno e uso do fogo também foram avaliados por FERNÁNDEZ et al. (2004) obtendo valores de perdas de solo de 2,04 t ha⁻¹ ano⁻¹ para as áreas enleiradas com queima, 1,76 t ha⁻¹ ano⁻¹ onde o resíduo foi espalhado sobre a área e queimado, enquanto que para os tratamentos sem queima as perdas são bem inferiores a estes valores, ficando em torno de 0,02 t ha⁻¹ ano⁻¹. Os autores relatam que de modo geral todas as técnicas empregando fogo geraram maiores perdas de solo.

No sistema de cultivo mínimo, ou reduzido, em que o preparo é localizado na linha ou cova de plantio, o volume de solo revolvido é menor, sendo que uma maior quantidade de resíduos é mantida sobre o solo. Conseqüentemente, é maior a resistência oferecida às perdas de solo e água no processo erosivo (GONÇALVES et al., 2002). Comparando estimativas de perdas potenciais de solo em função do uso e de práticas de manejo empregadas em plantações de pinus, GONÇALVES (2002) constatou perdas de solo acumuladas até o segundo ano de plantio de 3,290 t ha⁻¹ ano⁻¹ para sistema intensivo contra 0,074 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o cultivo mínimo adotando-se a subsolagem e plantio em nível. No entanto, a adoção deste sistema de preparo de solo requer que a distribuição dos resíduos seja feita sem comprometer a qualidade e o rendimento das operações feitas no momento do preparo do solo e posteriormente. Se os resíduos ficam distribuídos irregularmente sobre o terreno, há necessidade de picá-los ou removê-los das linhas de preparo e plantio. A utilização de implementos adequados e o planejamento detalhado de glebas ou talhões (microplanejamento) viabilizam a aplicação do cultivo mínimo (GAVA, 2002).

Os sistemas intensivos de preparo do solo normalmente facilitam o plantio, recuperam os solos compactados durante a colheita mecanizada, e reduzem a competição da vegetação espontânea, mas, por outro lado, aumentam erosão do solo com operações como o enleiramento do resíduo da colheita, que provoca raspagem da camada superficial do solo. Podem ainda, reduzir a produtividade do sítio em

função das perdas de nutrientes e gerar maiores custos considerando a necessidade de fertilização periódica do sítio (PYE ;VITOUSEK, 1985). Desta forma a escolha do sistema de preparo do solo adotado deve ser criteriosamente analisada em função de cada situação específica. FOX (2000) considera que a chave para a sustentabilidade da qualidade dos solos de uso florestal é o manejo específico de cada sítio. Isso requer um detalhado conhecimento dos solos, sua ocorrência na paisagem e como suas propriedades físicas, químicas e biológicas afetam a produtividade. O entendimento destes processos e propriedades específicas afetadas e potencialmente limitantes é necessário para o desenvolvimento de regimes de manejo para cada solo.

2.6 EFEITOS DOS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO EM SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS

Propriedades do solo tais como: estrutura, capacidade de retenção de água, porosidade, aeração, são aspectos de grande importância, pois influenciam o estabelecimento e crescimento de espécies agrícolas ou florestais (LAL, 1998; LAL, 1993). O preparo do solo pode ser uma importante ferramenta se propriamente usado, visando melhorar tais características do solo, com conseqüente aumento da produtividade (LAL, 1993).

BALLARD (2000) destaca que o preparo mecânico do solo traz benefícios, mas também potencialmente pode causar problemas. Os problemas gerados pelos sistemas intensivos de preparo do solo na agricultura, como a compactação do solo, que levam à deterioração de certas propriedades físicas como a estrutura e as características a ela associadas, são amplamente discutidas. Embora a grande maioria dos estudos seja direcionada a área agrícola, a deterioração das propriedades físicas do solo também têm sido detectadas em áreas de plantios florestais submetidos ao manejo intensivo (MALUF, 1991).

A redução da porosidade e particularmente da macroporosidade, por

exemplo, resultam na redução da condutividade hidráulica, que conseqüentemente limita a capacidade de infiltração de água do solo, fato que conduz ao aumento do escoamento superficial favorecendo o processo erosivo (BALLARD, 2000).

Alguns parâmetros do solo tais como: densidade, porosidade, condutividade hidráulica, resistência mecânica do solo à penetração, são destacados mostrando de que forma podem ser alterados pelo manejo do solo nas operações florestais.

2.6.1 Densidade do Solo

A densidade do solo corresponde à massa de solo por unidade de volume, ou seja, o volume do solo ao natural, incluindo os espaços porosos, sendo expressa em: g/cm^3 , Mg/m^3 e Kg/dm^3 (CURI et al., 1993).

A densidade do solo não afeta diretamente o crescimento das plantas ou a erodibilidade do solo. No entanto, em função de seu aumento ocorrem mudanças em outras propriedades tais como: porosidade, resistência mecânica do solo, aeração e disponibilidade de água (LACEY, 1993). Quanto mais elevada a densidade do solo, maior será sua compactação, menor sua porosidade total e conseqüentemente, maiores serão as restrições ao desenvolvimento das plantas e ao preparo do solo levando a maiores gastos de energia (COSTA et al., 2002).

Em relação à susceptibilidade à compactação, REICHARDT (1996) explica que para a maioria dos solos arenosos os níveis de compactação não são tão grandes assim, uma vez que as possibilidades de arranjo entre as partículas de solo são muito grandes. Já para os solos que apresentam textura mais argilosa, as possibilidades de arranjos de partículas são menores, aumentando assim sua possibilidade de compactação. O mesmo autor destaca ainda que, os valores de densidade dos solos arenosos variam entre 1,4 a 1,8 Mg/m^3 , e para os solos de textura fina variam entre 0,9 a 1,6 Mg/m^3 .

Nos sistemas intensivos de preparo do solo, podem ocorrer camadas sub-superficiais compactadas, quando as operações de preparo são realizadas sempre em

uma mesma profundidade, sendo que o problema é agravado quando há excesso de umidade no solo no momento da operação. Com o tempo esta camada compactada torna-se mais densa, reduzindo a infiltração de água no solo bem como a penetração das raízes. É comum encontrar essa forma de compactação no fundo dos sulcos de aração e de gradeação sendo denominado de “pé-de-arado” ou “pé-de-grade” CASTRO (1995). Esta situação em áreas florestais é mais difícil de ser encontrada, uma vez que, estes implementos são pouco usados no preparo do solo para o plantio florestal.

Quando não há mobilização da superfície no preparo do solo (plantio direto), os valores de densidade são mais altos, porém mais homogêneos ao longo do perfil, e acabam diminuindo gradativamente em profundidade. Diferente do sistema convencional que apresenta menores densidades nas camadas superficiais, mas, mostram acréscimos em profundidade (CASTRO, 1995).

Aumentos de densidade do solo em áreas florestais são comumente observados após a colheita, dependendo de como esta foi efetuada, do tipo de maquinário empregado. RAB (1996) analisando a compactação em trilhas de corte e pátios de empilhamento de madeira constatou aumentos na densidade do solo de 53% e 160% respectivamente, quando comparado com áreas florestais não perturbadas.

Também as operações de limpeza do terreno, alteram os valores de densidade do solo. GHUMAN e LAL (1992) analisando esta propriedade do solo em área submetida à limpeza com trator de esteira e lâmina observaram acréscimos chegando a $1,3 - 1,4 \text{ Mg/m}^3$ para $1,0 - 1,2 \text{ Mg/m}^3$ em áreas não perturbadas. As mesmas operações efetuadas em período chuvoso apresentaram valores ainda maiores: $1,50 - 1,57 \text{ Mg/m}^3$ sendo que estes foram encontrados na camada entre 10-20 cm. Este estudo concluiu que a limpeza do terreno deve ser efetuada preferencialmente em estações mais secas, para minimizar danos ao solo, e que a vegetação cortada deve ser mantida sobre a superfície do solo para evitar a exposição a altas temperaturas ou impactos de gotas da chuva, que aceleram o

processo de erosão.

2.6.2 Porosidade Total

CURI et al. (1993) descrevem a porosidade total como a porcentagem do volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. A porosidade total inclui a macroporosidade e a microporosidade e pode ser calculada pela relação entre as densidades real e do solo. A macroporosidade é definida como o número de poros maiores, no caso aqueles que não são capazes de transportar água por capilaridade, enquanto que a microporosidade se refere aos poros capazes de exercer esta função.

Os limites entre os quais varia a porosidade total de um solo são bastante amplos, uma vez que o volume de poros depende da composição granulométrica e da estruturação de cada solo. Segundo KIEHL (1979) os solos com partículas de tamanho uniforme são mais porosos do que os de partículas de tamanhos diferentes, pois neste caso as partículas finas podem preencher espaços livres entre o material grosseiro.

O armazenamento, disponibilidade e transporte da solução do solo e do ar não só dependem da porosidade total, mas também de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho, ou seja, a quantidade de macro e microporos (PREVEDELLO, 1996).

As passagens de máquinas na colheita de madeira e no preparo mecânico do sítio afetam a densidade do solo, e conseqüentemente sua resistência mecânica e porosidade total, afetando os processos de aeração e drenagem (BALLARD, 2000) e gerando impactos nas relações de água no solo e disponibilidade de nutrientes (FOX, 2000).

Também a porosidade de aeração que é o volume de poros existentes no solo a um dado teor de água, pode ser afetada no manejo dos solos de uso florestal. THEODOROU et al. (1991) constatou em áreas de plantio de *Pinus radiata*, que o

crescimento desta espécie foi reduzido quando a porosidade de aeração foi inferior a 10%. Na compactação, haverá uma maior quantidade de poros ocupada por água, reduzindo o espaço poroso responsável pela difusão de O₂ e outros gases. Concentrações abaixo de 10% de oxigênio comprometem o crescimento das plantas (OLIVEIRA, 1998).

2.6.3 Conteúdo de Água Disponível no Solo

O conteúdo de água disponível é definido por CURI et al. (1993) como a porção de água presente no solo, em condições de ser absorvida pelas raízes das plantas, sendo normalmente considerada como o teor de água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Conforme GONÇALVES (1988) uma das principais características do solo ideal para o plantio florestal é a boa capacidade de armazenamento de água em forma disponível às plantas, não apresentando falta ou excesso. O solo deve apresentar boas condições de drenagem interna e/ou situação topográfica e característica do perfil que facilitem a remoção de excessos temporários de água, assegurando boa aeração e não ocorrência de deficiência de oxigênio. Também PRITCHETT e FISHER (1987) destacam que o crescimento da floresta é bastante influenciado pela água disponível. A capacidade de retenção de água do solo é controlada por vários fatores, mas principalmente determinada pela estrutura e textura do solo. Maiores teores de silte e argila segundo os autores resultam em valores de retenção de água e nutrientes mais adequados contribuindo para o aumento da produtividade florestal.

2.6.4 Condutividade Hidráulica do Solo

A condutividade hidráulica do solo é a propriedade deste em conduzir água. Corresponde ao coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy, podendo ser

definida pela relação entre a densidade de fluxo de água e o gradiente de potencial hidráulico. É dependente das propriedades do fluido e principalmente do meio poroso homogêneo (CURI et al., 1993).

Segundo SOUZA (1995) alguns fatores influenciam o movimento de água no interior da massa de solo, como o tipo de cobertura do solo, formação de crostas, as características das chuvas, o manejo das culturas e resíduos, a rugosidade superficial do solo e sua estrutura, conteúdo de água no solo e profundidade de umedecimento.

A condutividade é influenciada pela quantidade e qualidade de poros no solo. Se o solo se encontra com os poros cheios de água, a condutividade denomina-se condutividade hidráulica saturada. Neste caso, o solo que apresenta maior macroporosidade, que efetivamente permite a movimentação de água no solo, será o mais condutivo, uma vez que dispõe de maior área de transporte. A infiltração de água no solo saturado é definida como rápida entre 12,5 e 25,0 cm /h e muito rápida para valores maiores que 25,0 cm /h (SILVA, 2003).

Um dos problemas associados às perturbações causadas pelas operações florestais na colheita da madeira ou preparo do sítio é a redução da condutividade hidráulica, decorrente do processo de compactação do solo. GHUMAN e LAL (1992) relatam que a velocidade de infiltração de água no solo, juntamente com outras propriedades físicas foram significativamente afetadas pelas operações de limpeza do terreno com lâmina e trator de esteira. Juntamente com o aumento da densidade na área de estudo, ocorreu a redução da condutividade hidráulica do solo.

Em relação ao processo erosivo, a redução da condutividade hidráulica do solo favorece o aumento da enxurrada mesmo com chuvas menos intensas. LACEY (1993) também destaca que o aumento da enxurrada representa maiores forças erosivas, e se a superfície do solo encontra-se desestruturada este manifesta menos resistência a estas forças.

2.6.5 Resistência Mecânica do Solo

A resistência de um solo é a habilidade ou a capacidade do mesmo, em condição particular de resistir a uma força aplicada (SILVA, 2003). BALASTREIRE (1990) descreve como resistência do solo à penetração, ou penetrabilidade, a resistência oferecida à introdução de um corpo sólido na massa de solo. A determinação deste parâmetro é medida através da facilidade com que uma sonda ou penetrômetro pode ser introduzido no solo, podendo ser expressa em unidades de distância, velocidade, força ou trabalho, dependendo do tipo de equipamento usado.

A tolerância em relação aos problemas gerados pelo aumento da resistência mecânica do solo varia de acordo com as diferentes espécies florestais. Segundo DOUGHERTY e GRESHAM (1988) o desenvolvimento radicular é o fator mais importante na sobrevivência e crescimento de pinus no primeiro ano de plantio. Aumentos de resistência mecânica do solo representam sérios problemas uma vez que até que o sistema radicular tenha chance de se desenvolver as mudas têm poucas condições de suprir suas necessidades principalmente em solos pouco férteis e com pouca disponibilidade de água para as plantas.

SANDS (1979) reporta que o desenvolvimento de raízes de *Pinus radiata* foi severamente limitado quando a resistência mecânica do solo excedeu a 3MPa. THEODOROU et al. (1991) relatam que houveram, para a mesma espécie, reduções no crescimento radicular de mudas com valores de resistência mecânica de 2,1 MPa ou superiores. No entanto, aumentos acima de 1,0 MPa prejudicaram o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* (WHITMANN et al., 1997).

Esse parâmetro pode ser alterado dependendo também do sistema de preparo do solo adotado. CONSTANTINI (1995) analisando o solo preparado para o plantio, constatou aumento de resistência mecânica do solo, em profundidades de até 30 cm, entre os “montes” ou camalhões feitos para o plantio, ou seja, nos sulcos efetuados pela passagem dos veículos durante a formação do camalhão e do plantio.

Na área onde é efetuado o plantio, ou seja, sobre o camalhão, foram obtidos os menores resultados de resistência mecânica. No entanto as raízes das mudas de pinus plantadas neste local, futuramente necessitam atravessar as zonas entre os montes onde estão os sulcos compactados colonizando as áreas entre os mesmos (entrelinhas) e encontrarão limitações geradas pelo aumento da resistência mecânica do solo. Deste modo, as raízes concentram-se sobre a área de plantio reduzindo a estabilidade da árvore. Estes problemas tendem a se agravar em solos de texturas grosseiras onde forças naturais de expansão e encolhimento são modestas para que haja uma recuperação natural do solo (CONSTANTINI, 1995).

2.7 MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO E SEUS EFEITOS NA PRODUTIVIDADE DE FLORESTAS PLANTADAS

O preparo do solo, segundo GONÇALVES et al. (2002) compreende um conjunto de operações que, quando usadas adequadamente, podem manter ou elevar os índices de produtividade florestal, reduzir a erosão e a relação custo/benefício dos recursos disponíveis. Os autores enfatizam ainda que o efeito do preparo do solo não depende somente dos implementos utilizados, mas da forma e intensidade do seu uso. Nenhum implemento usado para o preparo melhora a estrutura do solo, isso ocorre em função da atividade biológica de organismos do solo e da ação do sistema radicular das plantas. Considerando aspectos de conservação do solo, o melhor cultivo é aquele onde são efetuadas menos operações e onde permanece maior cobertura de resíduos vegetais sobre o solo.

O uso de métodos de preparo de solo envolvendo arados e grades atualmente não é utilizado ou sua utilização é bem pouco freqüente em áreas florestais. No entanto, na literatura alguns autores descrevem aumentos na produtividade florestal com o uso destes implementos enquanto outros afirmam que os mesmos apresentam pouca eficácia nesta condição. Para MHANDO (1993) o preparo do solo completo, envolvendo aração e grade de discos numa profundidade

de 20 cm em conjunto com a fertilização, reduziu a competição com plantas daninhas e aumentou o volume de enraizamento, desenvolvendo um sistema radicial vigoroso em mudas de *Eucaliptus saligna* capazes de melhor aproveitar os recursos do solo, contrastando com os tratamentos onde foi usado somente grade de discos até uma profundidade de 15 cm, resultando no enraizamento superficial e na alta mortalidade de mudas.

Os efeitos do preparo de solo completo, com arados de discos e grades, também é destacado por STUART e NORRIS (1995) que constataram respostas positivas para o desenvolvimento de mudas de espécies florestais, devido à destruição das invasoras, resultando na aceleração da mineralização do material incorporado e desenvolvimento de um forte sistema de raízes. Respostas obtidas também por MALUF (1991) que verificou que uso de grade pesada em dupla passagem promoveu melhor crescimento de mudas de eucaliptos dando resultados significativamente melhores em relação a outros métodos de preparo de solo.

Os efeitos do preparo de solo também podem ser diferenciados em função da textura do solo e do uso de fertilização no momento das operações. Conforme STUART e NORRIS (1995) a fertilização não é um método de preparo do solo, mas pode ser considerada como parte integral desta operação, uma vez que, esta prática no plantio estimula o desenvolvimento do sistema radicular e favorece o crescimento das plantas.

Segundo ATTIWILL et al. (1985) o cultivo intensivo em solos arenosos com uso de grades de discos leva à decomposição e conseqüentemente aumenta a mineralização dos nutrientes retidos na matéria orgânica, mas favorece as perdas de nutrientes por lixiviação e a redução da produtividade do sítio florestal. CAVICHILO et al. (2003) avaliando o crescimento de rebrota de *Eucaliptus saligna*, constataram menores incrementos em altura e DAP (Diâmetro na altura do peito) com o revolvimento do solo pela gradagem, sendo que a testemunha (sem preparo) apresentou maiores incrementos em solos de textura média. O revolvimento com a grade, de acordo com os autores, pode ter favorecido maior

evaporação de água na camada superficial do solo e, conseqüentemente reduziu o aproveitamento dos nutrientes normalmente em maiores concentrações nas camadas mais superficiais.

O uso da grade *bedding*, prática pouco usada atualmente, forma camalhões para o plantio feitos em nível com menor revolvimento de solo, com isso reduzindo o potencial de erosão. A grade *bedding* foi bastante usada, principalmente em áreas sujeitas a alagamento. RAB (1998) afirma que esta prática aumentou a sobrevivência e o crescimento de espécies florestais em solos com topografia plana, drenagem pobre, textura fina ou média, e altos teores de matéria orgânica. ATTIWILL et al. (1985) relatam respostas positivas de crescimento em *Pinus radiata* plantados nos camalhões em solos arenosos. Acreditam que isso se deve à redução da densidade do solo e maior concentração de nutrientes no centro das “camas” e que mesmo não sendo esta a causa principal do melhor crescimento das mudas, esta operação favorece esta resposta. No entanto, em áreas submetidas a este preparo, alguns pesquisadores têm observado redução no crescimento das plantas.

XU et al. (2002) descrevem aspectos negativos do uso da grade *bedding*, relatando a redução no desenvolvimento das árvores sobre os camalhões durante o fechamento do dossel. Estes efeitos negativos podem ser causados pelo acesso limitado das raízes na captação de água. O estudo concluiu que o uso da grade *bedding* reduziu muito os conteúdos de água na superfície do camalhão na estação seca. Ainda, com relação à erosão, o solo da superfície do camalhão fica bastante exposto ocorrendo a formação de sulcos em sua lateral. Deste modo, o solo solto acaba sendo transportado pela enxurrada, gerando perdas de solo.

O preparo do solo visa também recuperar solos compactados, facilitando o estabelecimento das mudas. Para esta finalidade, o subsolador está entre os métodos mais populares para o estabelecimento e regeneração de sítios florestais. Este melhora a sobrevivência e o crescimento das mudas, que apresentam um sistema radicular mais estável, atingindo profundidades maiores. Também expõe menor área de solo e não promove o revolvimento do mesmo, reduzindo com isto os riscos de

erosão nos plantios florestais, entre a fase de plantio e cobertura do solo (STUART; NORRIS, 1995). DEDECEK et al. (2000) concluíram que o preparo do solo na linha de plantio com subsolador foi o método mais eficiente na recuperação de solo degradado pela colheita florestal mecanizada, avaliado pelo desenvolvimento em altura de *Pinus taeda*. Com a finalidade de recuperação de solos compactados, LACEY (1993) considera que a grade de discos é eficiente para melhorar a aeração do solo. No entanto, no caso de compactação, não melhora propriedades físicas do solo em profundidade adequada.

O uso da queima dos resíduos favorece a perda de nutrientes por processos como volatilização, erosão e lixiviação, podendo comprometer a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola ou florestal. As proibições desta prática em algumas regiões como o Estado de São Paulo, e a preocupação com a rápida degradação dos solos e uso de herbicidas, foram fatores que agilizaram a adoção do cultivo mínimo (GONÇALVES et al., 2000). Além dos efeitos positivos deste sistema sobre a erosão do solo, os autores destacam seus efeitos na fertilidade do solo e produtividade florestal. Em experimento comparando métodos de preparo do sítio, verificaram que no tratamento onde foi realizado o cultivo mínimo com a manutenção dos resíduos sobre o solo houve aumento dos teores de fósforo disponível e bases trocáveis com o passar do tempo, atribuído à liberação de nutrientes pela decomposição da serapilheira e matéria orgânica.

Nos sistemas intensivos, o estabelecimento inicial das mudas e seu crescimento pós-plantio são favorecidos pela queima dos resíduos e pelo revolvimento do solo, que causam aumento na disponibilidade de nutrientes e maior crescimento das raízes e de área foliar para captura de nutrientes e energia solar, respectivamente (GATTO et al., 2003). No entanto, de acordo com os mesmos autores, em uma análise geral o cultivo mínimo gera maior economia de água e nutrientes que os métodos intensivos de preparo do solo. Esses efeitos podem não ser percebidos nas primeiras rotações, mas a longo prazo espera-se que a produtividade seja mais sustentável em função do maior estoque de nutrientes do

ecossistema, graças às menores perdas por erosão hídrica, lixiviação e volatilização.

2.8 MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO EM FLORESTAS PLANTADAS E SEUS EFEITOS NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

O método de preparo empregado para o plantio de florestas, também pode influenciar a disponibilidade de nutrientes no solo. Mesmo que este apresente concentrações adequadas de nutrientes, estes somente terão efeito para a nutrição das plantas se houver disponibilidade de água adequada para seu transporte do solo, até as raízes para crescimento radicular. Conforme GONÇALVES et al. (2000) métodos de preparo onde não ocorre o revolvimento intensivo da superfície do solo (cultivo mínimo) tendem a preservar a estrutura do solo e conseqüentemente sua porosidade e capilaridade, desta forma os processos de trocas gasosas entre a atmosfera e o solo e os processos de transferência de nutrientes e água do solo para as raízes são pouco prejudicados.

A queima dos resíduos florestais, bastante utilizada nos sistemas intensivos de preparo de solo, também altera a disponibilidade de nutrientes. MALUF (1991) citando vários autores destaca que os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e os valores de pH da camada superficial do solo são consideravelmente elevados após a queima dos resíduos, no entanto a longo prazo estes níveis são drasticamente reduzidos. KHANNA e RAISON (1985) afirmam que na queima também podem ocorrer perdas consideráveis de nutrientes pelo efeito do vento que carrega as cinzas, e pela erosão superficial ocasionada por chuvas pesadas, principalmente em regiões de maior declividade.

A adoção de um método de preparo do solo que permita manter ou melhorar a fertilidade do solo e a disponibilidade dos nutrientes é um fator importante, considerando que conforme REISSMANN e WISNEWSKI (2000) o crescimento rápido e a ausência de sintomas de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações de pinus, de modo geral dispensariam fertilizações total ou

parcialmente. Considerando estes aspectos, o acompanhamento das condições do solo e da planta em relação aos teores de nutrientes são de grande relevância. REISSMANN (2003) destaca que analisar unicamente o solo mineral faz com que permaneça uma defasagem em relação aos elementos imobilizados nos horizontes orgânicos, que podem ser mais ou menos espessos em função da qualidade do sítio florestal. A análise foliar envolve um custo maior, porém fornece uma melhor evidência principalmente em solos que são deficientes em nutrientes. Esta reflete a absorção de nutrientes no volume total de solo que é explorado pelas raízes (CARVALHO et al., 1983). Considerando que nem a análise foliar, nem a análise do solo, isolados ou em conjunto, possam satisfazer com plenitude a pergunta quanto às limitações da nutrição mineral do pinus, REISSMANN (2003) lembra a necessidade de incluir no processo de diagnóstico, o bioensaio com níveis crescentes de fertilizantes ou, com omissão de fornecimento de nutrientes dos quais suspeita-se estar seu suprimento limitado.

Os níveis de nutrientes no solo e na planta devem ser monitorados visando garantir a produtividade das plantações florestais, com maior atenção para os nutrientes considerados limitantes. LASO GARICOITS (1990) observou que o crescimento de *Pinus taeda* foi fortemente afetado quando implantado em solos desenvolvidos sobre arenito, pela baixa oferta de P,K,Mg e Zn destacando-se como mais limitantes o K e o Zn.

Conforme REISSMANN e WISNEWSKI (2000) o nitrogênio da alguma forma acaba entrando no sistema através de descargas elétricas na atmosfera seguidas de precipitação e um mínimo de fixação biológica e decomposição da matéria orgânica. No entanto, em ensaios com omissão de nutrientes em experimentos dos mesmos autores, o nitrogênio juntamente com o fósforo foram os mais limitantes. Neste caso a ciclagem de nutrientes não pode compensar as perdas, sendo que no campo espera-se ocorrer certa atuação neste sentido.

O fósforo é considerado limitante para a produtividade florestal, sendo que na maioria dos solos brasileiros grandes doses de adubos fosfatados são empregados

pelas empresas deste setor (VOGEL et al., 2005). REISSMANN e WISNEWSKI (2000) descrevem teores foliares entre 1,4 a 1,9 g/kg de fósforo nas acículas associando-os com os maiores crescimentos em *Pinus taeda* com 15 anos sob solos de diferentes texturas.

De acordo com SCHUMACHER (2000) grandes quantidades de nutrientes são removidas do sítio pela colheita florestal como o potássio e o cálcio, dos compartimentos do lenho e casca respectivamente e dependendo das características do sítio, esses nutrientes podem também ser considerados como limitantes à produtividade florestal. O potássio é um elemento cuja ciclagem devolve pouco com a serapilheira, uma vez que em função de sua alta mobilidade o material cai bastante empobrecido em potássio, acontecendo o contrário com o cálcio. As exigências em cálcio são relativamente baixas por parte do *Pinus taeda*, uma característica ecológica de espécies adaptadas a solos ácidos, não apresentando problemas com elevados teores de Alumínio. No entanto, a importância do cálcio não deve ser desmerecida, uma vez que quantidades expressivas deste elemento são exportadas (REISSMANN, 2003).

Em relação ao potássio REISSMANN e WISNEWSKI (2000) constataram que bons níveis de crescimento foram verificados com teores nas acículas entre 6,0 e 12,0 g/kg em plantas de pinus com 8 anos de idade. Outro macronutriente de importância de acordo com estes autores é o magnésio, atuando nos processos enzimáticos e presente na molécula de clorofila. Evidencia-se que no mínimo 0,6 g/kg de magnésio são necessários para um adequado crescimento do pinus, valor encontrados nas melhores classes de sítio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Localização e Clima das Áreas Experimentais

Os experimentos foram conduzidos em duas áreas de plantio de *Pinus taeda* nos Municípios de Itaiópolis e Três Barras, região Norte do Estado de Santa Catarina. O Município de Itaiópolis, está situado geograficamente a 26°27'09" de latitude sul e 49°54'36" de longitude oeste, com altitude média de 915 m. O Município de Três Barras dista de Itaiópolis aproximadamente 60 km, e está localizado nas coordenadas 26°09'27" de latitude sul e 50°15'16" de longitude oeste, com altitude média de 780 metros.

O clima predominante das regiões de estudo, segundo KÖEPEN, classifica-se como Cfb1: temperado brando, chuvoso com verão fresco e precipitação média anual de 1800 mm distribuída com maior frequência nos meses de dezembro a março, e em menor quantidade nos meses de junho a agosto. A temperatura média anual é de 18° C, com médias mínimas alcançadas de 7° C e máximas de 26° C (dados cedidos pela empresa proprietária da área experimental).

3.1.2 Geologia Local

O Município de Itaiópolis, pertence à Formação Geológica do Grupo Tubarão, período Carbonífero. A litologia compreende na seção Médio: sedimentos marinhos compreendendo siltitos e folhelhos esverdeados com níveis carbonáticos argilosos silicificados em superfície e subordinadamente arenitos muito finos. Na seção Inferior: depósito flúvio-deltaico, compreendendo arenitos imaturos (arcóseos e subarcóseos) esbranquiçados, finos a médios, localmente grosseiros, argilosos micáceos e secundariamente arenitos muito finos, siltitos e argilitos, folhelhos

carbonosos, leito de carvão e conglomerado. O relevo predominante é ondulado (MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 1986).

O Município de Três Barras, como em Itaiópolis, também pertence à Formação Geológica do Grupo Tubarão, período Carbonífero Superior. A litologia é constituída de sedimentos marinhos compreendendo siltitos e folhelhos esverdeados com níveis carbonáticos argilosos silicificados em superfície e subordinadamente arenitos muito finos. O relevo predominante é caracterizado como suave ondulado (MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 1986).

3.1.3 Solos

O solo da área experimental de Itaiópolis foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico, com A Proeminente, textura argilosa. A granulometria deste solo (até os 22 cm de profundidade) apresentou valores médios de argila de 555 g.kg^{-1} , silte 218 g.kg^{-1} e $22,5 \text{ g.kg}^{-1}$ de areia total, subdividida em valores médios de 87 g.kg^{-1} de areia grossa e de 172 g.kg^{-1} areia fina. A análise química deste solo (profundidade até 22 cm) revelou valores médios de pH em CaCl_2 em torno de 4,3, saturação de bases de 16,4 % e CTC de $12,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

O solo da área experimental localizada no Município de Três Barras foi classificado como Argissolo Vermelho-Escuro Álico, com A moderado e textura muito argilosa. A composição granulométrica do solo até os 22 cm de profundidade, no talhão selecionado para o experimento apresentou valores médios de 745 g.kg^{-1} de argila, $30,1 \text{ g.kg}^{-1}$ de areia total e 222 g.kg^{-1} de silte, sendo que a areia total, subdividida nas frações areia grossa e areia fina apresentaram valores de $10,0 \text{ g.kg}^{-1}$ e $21,0 \text{ g.kg}^{-1}$ respectivamente. A composição química deste solo, apresentou valores médios de pH em CaCl_2 de 4,2, saturação de bases com valores de 16,1% e CTC de $16,6 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$. A classificação dos solos foi realizada pela empresa florestal proprietária das áreas experimentais, através de perfis abertos nos talhões selecionados.

Os locais escolhidos para a instalação das parcelas experimentais nas duas áreas apresentaram declividades médias representativas para cada região, ou seja, de acordo com o relevo predominante em cada localidade. Em Três Barras a declividade do local escolhido para instalação do experimento apresentou valores entre 3 e 5%, sendo que em Itaiópolis o declive encontra-se um pouco mais acentuado, entre 9 e 12%.

3.1.4 Descrição das Operações de Colheita e Preparo do Solo nas Áreas Seleccionadas

As duas áreas seleccionadas para a condução do ensaio foram submetidas ao corte raso de *Pinus taeda* com 16 anos de idade, em espaçamento 2,5 X 2,5 m. Para a operação de corte das árvores foi empregado um *Feller Buncher*, Hydro AX 611 com pneus, equipado com cabeçote de corte de disco de 22". A extração da madeira foi realizada com *Skidder* de pneus, com correntes, modelo 518 da Caterpillar.

Nas operações de limpeza do talhão, foi utilizada a lâmina ancinho acoplada a um trator Caterpillar D6 – R, para a realização da amontoa do resíduo de colheita em leiras, no sentido da declividade do terreno. Estas leiras posteriormente foram queimadas e, na seqüência, desfeitas e espalhadas sobre a área.

3.1.5 Descrição dos Tratamentos Testados em Cada Localidade

1) Tratamento “Cortando o Declive”: uso do subsolador combinado com grades na linha de plantio “cortando” a declividade do terreno ou em nível. Este implemento é composto por duas hastes de subsolador com profundidade de trabalho de 40 cm e com uma distância entre si de 2,5 m já definindo o espaçamento entrelinhas. Cada haste subsoladora é combinada com a grade composta por dois discos dentados, de 38 polegadas, convergentes laterais;

2) Tratamento “Morro Abaixo”: uso do subsolador combinado com grades na linha de plantio sendo efetuado morro abaixo. Este é o método mais comumente adotado em ambas as localidades.

A amontoa do resíduo de colheita em leiras com a queima efetuada na seqüência, atividade de rotina na empresa, não foi realizada na área do talhão destinada à locação dos tratamentos Covas e Sem Preparo.

3) Tratamento “Covas” uso de coveador, na linha de plantio mantendo o resíduo da colheita. Neste tratamento foi utilizado um coveador giratório acionado por um motor, acoplado em uma retroescavadeira de 80 HP, no lugar da concha. O equipamento foi desenvolvido pela empresa proprietária da área experimental, sendo que atualmente não é mais utilizado em atividades de preparo do solo em função do baixo rendimento operacional. O coveador giratório prepara as covas na linha de plantio com profundidade aproximada entre 25 – 30 cm mantendo o espaçamento 2,5 m por 2,5 m.

4) Tratamento “Sem preparo”: ausência de preparo de solo, ou seja, nenhum revolvimento com plantio manual efetuado sobre o resíduo.

O plantio na área de cada tratamento foi realizado manualmente em julho de 2003 nas duas localidades. Os tratos culturais dispensados aos tratamentos avaliados consistiram na aplicação de herbicida no primeiro ano de plantio na linha e roçadeira manual nas entrelinhas.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Instalação dos Experimentos

Os experimentos foram instalados em abril de 2003, nas duas áreas experimentais já descritas sendo constituídos por quatro tratamentos sem repetições. As dimensões da área ocupada para cada tratamento foram de 20 m de largura por 25 m de comprimento no sentido do declive, totalizando 500 m². Os quatro

tratamentos foram instalados lado a lado isolados por uma canaleta construída com retroescavadeira ao redor de cada parcela experimental (tratamento). Esta canaleta teve a finalidade de conduzir o escoamento da água da chuva de cada tratamento à calha coletora correspondente, isolando-os de forma que não houvesse contaminação por sedimentos das áreas adjacentes.

Na porção inferior de cada tratamento, foi instalada uma calha coletora de enxurrada (*Roda Coshocton*). Esta calha foi conectada através de um cano em um balde plástico com tampa, com capacidade para 65 litros de água. A calha (figura 1) conhecida como *Coshocton – Type Runoff Samplers* (PARSONS, 1954) é um equipamento desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos com objetivo de quantificar a erosão em áreas experimentais fazendo uma amostragem de 1% da enxurrada na área de cada tratamento, ou seja, 1% da água e material em suspensão perdidos ficam retidos no balde. As coletas dos sedimentos retidos na calha e água no balde em cada tratamento, foram realizadas quinzenalmente nas duas áreas experimentais.

FIGURA 1 – CALHA COLETORA DE ENXURRADA E SEDIMENTOS –
(*RODA COSHOCTON*)



3.2.2 Medição da Precipitação Pluviométrica

Em cada área experimental foram instalados pluviógrafos para a medição da precipitação pluviométrica durante o ano de avaliação. Além dos dados de precipitação medidos no local, foram levantadas informações de dados de Estações Meteorológicas de localidades próximas às áreas experimentais cedidas pelo SIMEPAR - PR e EPAGRI - SC e ainda informações da empresa florestal proprietária das áreas de estudo.

A partir das precipitações obtidas no período, foram calculadas energias cinéticas totais das chuvas para cada evento. Foram consideradas chuvas individuais aquelas separadas por mais de seis horas. A energia cinética da chuva foi calculada mediante a equação proposta por WISCHMEIER e SMITH (1958) sendo:

$$E = 0,119 + 0,0873 \text{Log } I$$

Onde E é a energia cinética, em $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$, e I é a intensidade da chuva, em mm h^{-1} . O índice EI_{30} foi obtido a partir da multiplicação da energia cinética total (E) de uma chuva erosiva pela máxima intensidade ocorrida em um período de 30 minutos consecutivos (I_{30}), segundo WISCHMEIER e SMITH, (1958).

3.2.3 Determinação das Perdas de Solo, Água e Nutrientes pela Erosão

As amostragens dos sedimentos retidos na calha e no balde foram feitas quinzenalmente seguindo a metodologia preconizada por COGO (1978). O material sólido retido na calha de descarga (solo erodido) a cada coleta, era submetido à secagem ao ar e posteriormente pesado sendo encaminhado para avaliação da composição química e granulométrica, esta última determinada pelo método da pipeta, seguindo a metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Os nutrientes perdidos foram quantificados com base nos resultados da análise química dos

sedimentos em cada coleta. Os teores totais de cálcio e magnésio, foram extraídos com KCl 1N; P e K extraídos por Mehlich e o C orgânico através do método colorimétrico (PAVAN et al., 1992).

A altura da enxurrada (água da chuva e sedimentos finos transportados) nos baldes coletores conectados à calha, foi medida através de uma régua de madeira de 1m de comprimento colocada no centro do mesmo, considerando que a altura e diâmetro do balde já eram conhecidos tornou-se possível desta maneira determinar o volume total em cada coleta.

A concentração de sedimentos finos na enxurrada foi amostrada através da coleta de água em dois frascos de 300 ml após a homogeneização do material contido no balde. O conteúdo dos frascos foi colocado em copos de Becker de 500 ml para decantação do material, na seqüência a água foi cuidadosamente separada do material sólido restante no fundo do copo. Este material foi levado a estufa para secagem a 105° C e posteriormente pesado, sendo que os resultados obtidos nesta pesagem foram empregados no cálculo para determinação da concentração de sedimentos por litro de água coletada no balde. Este material não foi encaminhado à análise para a determinação de sua composição química e granulométrica por ser insuficiente para estes procedimentos. A água separada do material sólido foi analisada seguindo a mesma metodologia adotada para análise de solo descrita em EMBRAPA (1997) para os elementos: cálcio, magnésio, potássio e fósforo.

Para fins de cálculo foram tomados o volume da enxurrada obtido no balde que representa 1% da área de cada parcela experimental multiplicado por 100 obtendo-se desta forma o valor da área total : 500 m². A quantidade de sedimento obtida na calha foi extrapolada para a área total de cada parcela experimental (cada tratamento) e somada ao volume total da enxurrada (material sólido) obtido no balde coletor. Estes resultados foram extrapolados por hectare, determinando assim as perdas de solo geradas quinzenalmente associadas aos eventos de chuva no período correspondente. A quantidade de água amostrada no balde igualmente foi

extrapolada para a área total de cada parcela experimental (tratamento) e depois por hectare sendo expressa em mm.

3.2.4 Quantificação dos Resíduos de Colheita em Cada Tratamento

A avaliação da quantidade de resíduo de colheita florestal (cobertura) que permaneceu sobre o solo em cada tratamento foi realizada logo após a implantação das parcelas experimentais, através de amostragens pelo método do quadrado. A metodologia consiste no uso de um quadrado de ferro com 1m^2 que é distribuído ao acaso em três pontos dentro de cada tratamento (parcela experimental). Todo o resíduo existente dentro do quadrado foi coletado e submetido à secagem em estufa a temperatura de 60°C até peso constante. Na sequência realizou-se a pesagem do material seco (massa seca) sendo efetuado o cálculo da quantidade de resíduo por hectare que permaneceu sobre a área em função de cada método de preparo adotado. A figura 2 ilustra o procedimento empregado para a quantificação do resíduo nas duas áreas experimentais.

FIGURA 2 – QUADRADO METÁLICO UTILIZADO NA QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUO EM CADA TRATAMENTO



3.2.5 Análises Químicas e Granulométricas da Camada Superficial de Solo (0 – 4 cm)

Foram retiradas amostras de solo indeformadas em anéis de PVC até a profundidade de 4 cm na instalação do experimento e depois de decorrido um ano de avaliação, com três repetições para cada tratamento nas duas áreas experimentais, com a finalidade de avaliar as perdas de nutrientes na camada superficial por erosão no período de monitoramento. Estas amostras foram submetidas à análise granulométrica, realizada através do método da pipeta seguindo a metodologia citada em EMBRAPA (1997) e a fertilidade do solo com a determinação de Ca, Mg, K, P e C de acordo com (PAVAN et al., 1992).

3.2.6 Análises Físicas do Solo

3.2.6.1 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, anéis com volume de 66 cm³, com a retirada de amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Foram escolhidos aleatoriamente três pontos por tratamento contemplando a linha preparada (revolvida) para o plantio, nos tratamentos Cortando declive, Morro abaixo e Covas e no tratamento Sem Preparo (sem revolvimento) na linha que recebeu o novo plantio, totalizando três repetições para cada profundidade. Os procedimentos metodológicos para a obtenção dos valores de densidade do solo foram seguidos conforme a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) onde:

Densidade do solo (g/cm³) = a/b sendo:

a = peso da amostra seca a 105 °C e

b = volume do anel.

3.2.6.2 Porosidade total

A porosidade total foi determinada, nos mesmos pontos e profundidades estabelecidos para a determinação da densidade do solo e com o mesmo número de repetições. O cálculo segundo a metodologia da EMBRAPA (1997) é determinado da seguinte forma:

Porosidade total = $100 (a - b) / a$ onde:

a = densidade de partículas

b = densidade do solo

3.2.6.3 Microporosidade e macroporosidade

Para a determinação da microporosidade utilizou-se as mesmas amostras indeformadas coletadas para a determinação da densidade do solo. As amostras foram saturadas e colocadas sob a mesa de tensão submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna de água, posteriormente pesadas e colocadas em estufa a 105 °C.

Para o cálculo seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997)

considerou-se:

$(a - b) / c$ onde:

a = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água;

b = peso da amostra seca a 105 °C

c = volume do anel

Para a determinação da macroporosidade considerou-se:

Macroporosidade = Porosidade Total – microporosidade

3.2.6.4 Conteúdo de água disponível

Calcula-se o conteúdo de água disponível em um solo subtraindo-se da porcentagem de água do solo obtida através de amostras indeformadas na tensão de 10 kPa a porcentagem da umidade de murchamento (1500 kPa) de acordo com o descrito por MONIZ (1972).

3.2.6.5 Condutividade hidráulica saturada do solo

De acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), a determinação desta propriedade do solo, foi feita também com amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos, nos mesmos pontos e repetições determinados para densidade do solo. As amostras foram submetidas à saturação e colocadas em permeâmetro de carga constante. O volume de água percolada através destas amostras foi medido de hora em hora, durante um período de quatro horas, sendo coletado em provetas, com a realização de uma média das últimas leituras ao final da avaliação.

A fórmula apresentada pela EMBRAPA (1997) é:

$$K = Q \times L / A \times H \times t \text{ (cm/h) onde:}$$

K = condutividade hidráulica em cm/h

Q = volume percolado em ml, ou seja, o valor da última leitura quando não há variação entre os valores anteriores, ou a média das duas leituras quando há alguma variação.

L = altura do bloco de solo em cm

H = altura do bloco do solo e da coluna em cm

A = área do cilindro em cm²

t = tempo em horas.

3.2.7 Resistência Mecânica do Solo à Penetração

A resistência mecânica à penetração foi obtida através do penetrógrafo SC-60 da Soil Control, com penetração máxima de 60 cm e resistência de 76 kg/cm² ou de 0 a 1080 PSI. Os resultados de resistência mecânica do solo foram considerados até a profundidade de 35 cm, ou seja, semelhante à da coleta de amostras indeformadas para as análises físicas. A leitura dos diagramas para obtenção dos valores de resistência foi efetuada através de um programa de digitalização denominado Techdig, com os valores convertidos de: kg/cm² para MPa.

As avaliações foram realizadas em quatro repetições por tratamento nas duas áreas experimentais, em locais escolhidos aleatoriamente perpendicular à linha de tocos antigos, cobrindo a linha de plantio. As distâncias consideradas tendo o toco das árvores cortadas como ponto de partida foram: 0, 0,25, 0,50, 0,75, 100 e 125 cm.

3.2.8 Avaliação das Plantas Depois de Um Ano do Plantio

3.2.8.1 Análise foliar

Foram coletadas amostras de acículas das plantas de cada tratamento no final da avaliação do experimento, quando estas estavam com um ano durante o período do verão. As acículas coletadas para amostragem foram as dos galhos superiores completamente desenvolvidas. A técnica de amostragem empregada obedece ao proposto por BELLOTE e SILVA (2000). Foram realizadas amostras compostas de acículas de várias plantas por parcela/tratamento, totalizando três amostras simples (três repetições) por tratamento nas duas áreas experimentais.

As amostras foliares foram secas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 70-75°C até peso constante. Após a secagem foi feita a moagem do material foliar em moinho Willey com peneira de 20 "mesh". As amostras foram

digeridas por via úmida, empregando-se a digestão Nitro-Perclórica (SARRUGE; HAAG, 1974). Os teores de P foram determinados colorimetricamente pelo método de Vanado-Molibdato de Amônia, e os teores de K, Ca, Mg, por espectrometria de absorção atômica. Os teores de N foram determinados por Semi-Micro-Kjeldahl (SARRUGE; HAAG, 1974).

3.2.8.2 Medição de altura

A altura das plantas de todas as linhas dentro de cada tratamento para as duas áreas experimentais após um ano foi determinada com o auxílio de régua apropriada.

3.2.9 Análises Estatísticas

Os tratamentos não apresentaram repetições. Em experimentos para quantificação de erosão normalmente é esta a metodologia adotada, considerando a dificuldade de serem realizadas repetições, devido ao tamanho das parcelas empregadas e a necessidade destas apresentarem a menor variabilidade possível em relação à declividade, tipo de solo, quantidade de resíduos sobre o solo. Cada parcela experimental (tratamento) foi disposta uma ao lado da outra em uma área o mais homogênea possível em relação aos fatores supracitados. Neste trabalho, como normalmente é realizado em experimentos para quantificação de perdas de solo os eventos de chuva foram considerados como repetições, uma vez que representam uma mesma intensidade, duração e quantidade de chuva para os mesmos tratamentos, no período de um ano.

Os resultados das perdas de solo água e nutrientes em cada coleta (repetições) foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação dos resultados

médios obtidos para cada variável foi efetuada através do teste de Tukey ao nível de significância de 5%. O programa estatístico utilizado para as análises foi o SANEST. O mesmo procedimento foi adotado para as análises dos parâmetros físicos e químicos do solo, bem como para a avaliação da quantidade de resíduos.

Para a avaliação das plantas em relação à altura, foram consideradas as alturas das plantas de quatro linhas de cada parcela para a análise estatística. Cada parcela/tratamento contou com o mesmo número de plantas para avaliação, sendo efetuada a análise de variância e os valores médios comparados através do teste de Tukey. Os teores de cada nutriente nas acículas, (amostragens de acículas em três repetições por parcela), portanto três valores para cada elemento: N, P, K, Ca e Mg também foram submetidos à análise de variância e ao Teste de Tukey para comparação das médias.

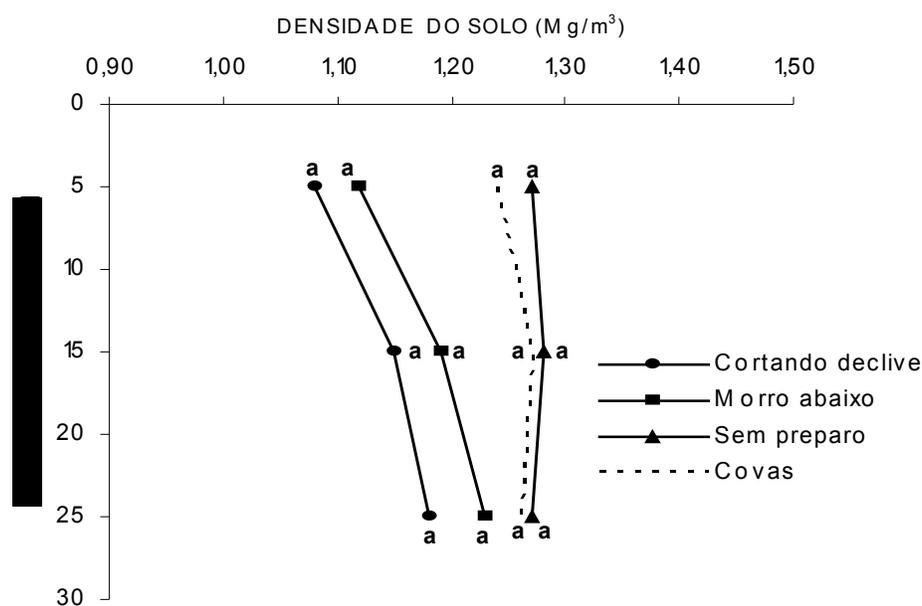
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

4.1.1 Densidade do Solo

Não ocorreram diferenças estatísticas significativas para este parâmetro entre os métodos de preparo avaliados nas três profundidades de solo ao nível de significância de 5% na área experimental de Itaiópolis.

GRÁFICO 1- VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

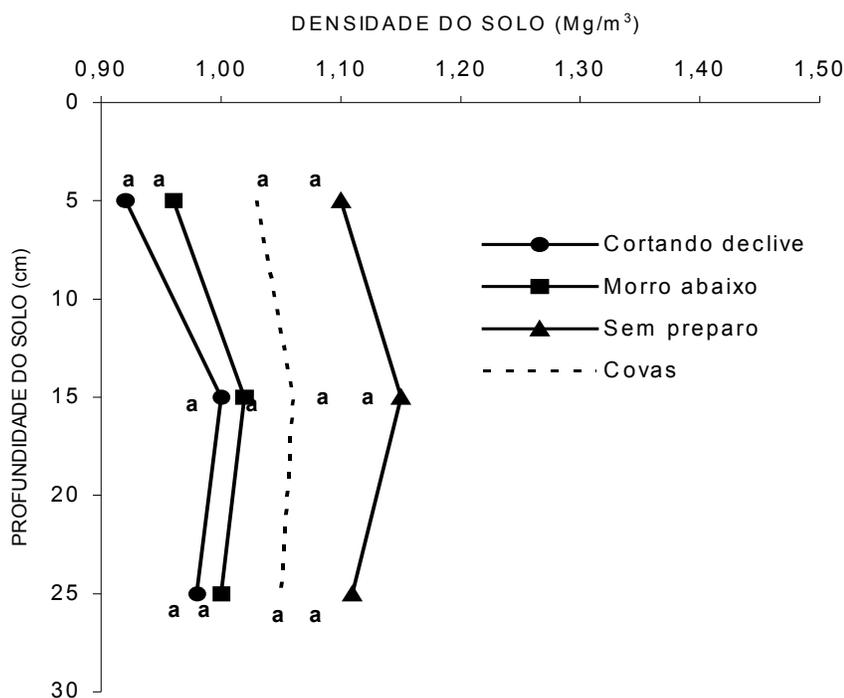
O gráfico 1, ilustra os resultados médios obtidos para a densidade do solo nesta área experimental. A tendência geral dos resultados obtidos concorda com os valores de densidade para solos de textura argilosa, situando-se dentro de uma amplitude entre 0,9 a 1,6 Mg/m³ (COSTA et al., 2002; SILVA, 2003).

Os valores de densidade do solo obtidos na camada superficial entre 0 e 10 cm nos tratamentos com revolvimento mais intenso, são aproximadamente 20% menores que os encontrados na mesma camada para os tratamentos ‘Sem preparo’ e ‘Covas’, fato esperado em função da maior mobilização do solo nesta camada no preparo. Na profundidade entre 10 a 20 cm os valores são maiores que na camada superficial, sendo mantidos até a profundidade de 20 a 30 cm nos dois tratamentos com revolvimento de solo mais intensivo. Estes valores são menores que os encontrados na área sem preparo e coveada nas mesmas profundidades.

Na ausência de preparo e no tratamento ‘Covas’, onde o revolvimento foi localizado, não houve nenhuma diferença expressiva nas três profundidades avaliadas. No gráfico 1, no tratamento ‘Sem preparo’ ficou evidenciado o descrito por CASTRO (1996) avaliando propriedades físicas de solos com manejo diferenciado, ou seja, quando não ocorre a mobilização da superfície do solo os valores de densidade tendem a ser mais altos e mais homogêneos ao longo do perfil, enquanto que com a mobilização estes valores apresentam-se menores na camada superficial e logo abaixo mais elevados.

A avaliação deste parâmetro na área experimental de Três Barras (gráfico 2) também não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os valores médios obtidos nos tratamentos avaliados ao nível de significância de 5%.

GRÁFICO 2 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DO SOLO (Mg/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Os resultados obtidos no geral manifestam valores menores aos encontrados na área experimental de Itaiópolis. Este fato se explica em função da textura do solo nesta área experimental que apresenta maiores conteúdos de argila comparativamente a Itaiópolis. Segundo CAMARGO (1997) conforme a composição granulométrica do solo, ou seja, em função do tamanho e arranjo diferenciado das partículas os solos com maiores conteúdos de argila tendem a apresentar valores menores de densidade do solo.

Conforme o esperado, o revolvimento do solo nos tratamentos: “Cortando o declive” e “Morro abaixo” apresentaram valores médios de densidade ao redor de 15

a 20% menores na camada superficial que no tratamento “Sem preparo”, sendo que este tratamento apresentou valores maiores para as três profundidades avaliadas, em consequência da ausência de mobilização do solo, da mesma forma que a área experimental de Itaiópolis.

O tratamento “Covas” apresentou valores aproximadamente 10% menores em todas as profundidades comparativamente ao tratamento “Sem Preparo”, no entanto tende a apresentar densidade do solo maior que para os tratamentos com revolvimento mais intenso, uma vez que a mobilização na área coveada é realizada de forma localizada.

No geral observa-se uma tendência dos valores médios obtidos na camada entre 10 e 20 cm de profundidade apresentarem-se pouco maiores que na camada superficial mesmo onde nesta última não ocorreu revolvimento (tratamento sem preparo). Esta situação pode ser explicada pela maior quantidade de matéria orgânica na superfície que acaba reduzindo a densidade do solo comparativamente às camadas mais profundas (MELO et al., 1984).

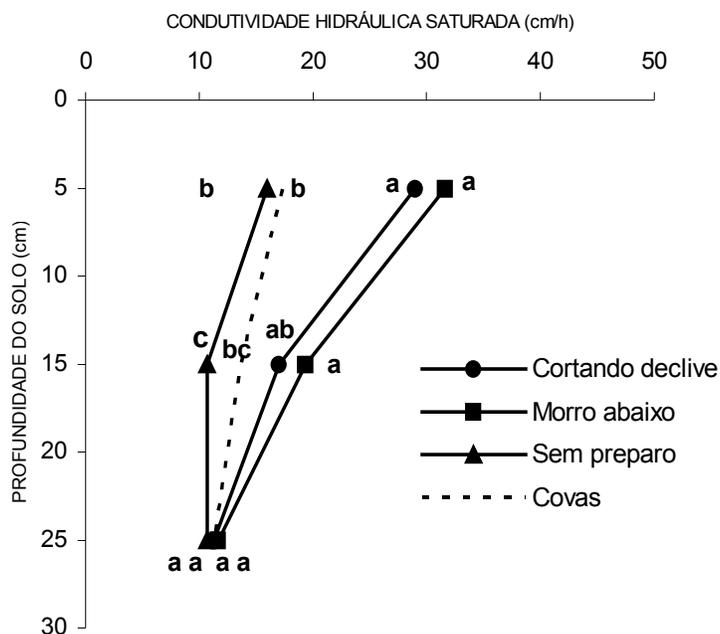
4.1.2 Condutividade Hidráulica Saturada do Solo

Foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados na área experimental de Itaiópolis (gráfico 3) nas profundidades de solo entre 0 a 10 e 10 a 20 cm avaliadas para o parâmetro de condutividade hidráulica saturada, ao nível de significância de 5%, sendo que a análise da variância para este parâmetro consta no anexo 1. Os tratamentos com revolvimento mais intenso do solo: “Cortando declive” e “Morro abaixo” apresentaram valores médios quase duas vezes maiores que os obtidos nos demais tratamentos na profundidade de 0 a 10 cm, sendo maiores também na profundidade entre 10 a 20 cm.

O preparo do solo com revolvimento mais intenso contribuiu para uma maior infiltração de água no solo, no entanto segundo DEDECEK et al. (1998) a tendência é a redução da permeabilidade com o tempo em função do acomodamento do solo

revolvido inicialmente. Os tratamentos “Sem preparo” e “Covas” na camada entre 0 a 10 cm apresentaram valores médios menores, no entanto considerados rápidos entre 12,5 e 25 cm.h⁻¹ conforme SILVA (2003). As profundidades de solo avaliadas aos 20 a 30 cm mostraram menor variação entre os valores médios obtidos para este parâmetro entre os tratamentos analisados, mantendo resultados considerados rápidos. Percebe-se maior uniformidade da permeabilidade em profundidade, nos tratamentos onde não ocorreu revolvimento ou este é restrito da mesma forma que para a densidade do solo, já discutida.

GRÁFICO 3 – VALORES MÉDIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (cm/h) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

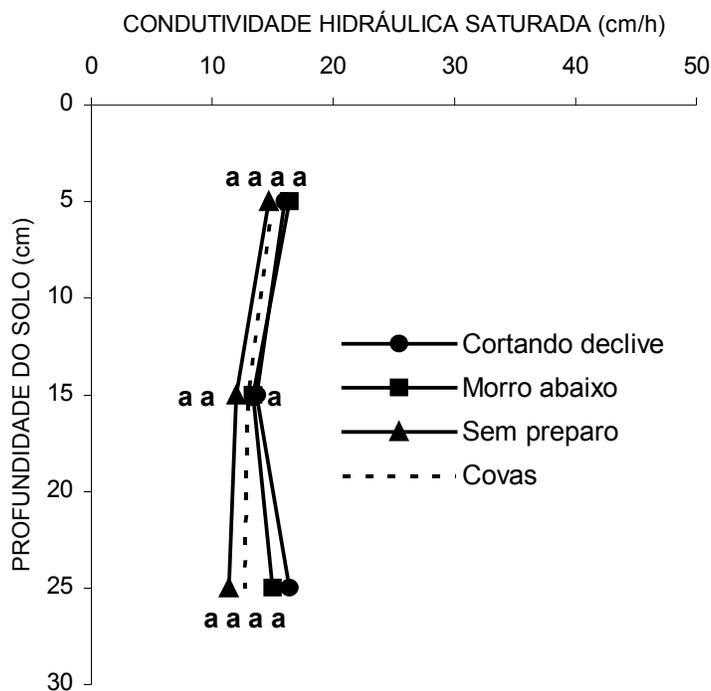
Na área experimental de Três Barras não foram encontradas diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos estudados ao nível de significância de 5%. O gráfico 4 apresenta o comportamento deste parâmetro entre os tratamentos e profundidades avaliados.

Na profundidade entre 0 a 10 cm os valores médios obtidos apresentaram-se pouco mais elevados nos tratamentos com maior revolvimento de solo. Nas profundidades entre 10 a 20 e 20 a 30 cm a tendência é a redução dos valores médios obtidos em todos os tratamentos, principalmente no tratamento “Sem preparo”, contudo não são valores considerados críticos conforme SILVA (2003).

Nesta área a condutividade hidráulica saturada do solo não mostrou valores tão elevados como em Itaiópolis na camada de 0 a 10 e 10 a 20 cm para os tratamentos com maior revolvimento do solo embora estes sejam os mais elevados também nesta área.

A maior permeabilidade na camada superficial dos tratamentos com revolvimento: “Cortando declive”, “Morro abaixo” e “Covas” é favorecida pela maior proporção de macroporos gerada no preparo do solo que são responsáveis por drenar a água mais rapidamente. Na ausência de revolvimento superficial (tratamento sem preparo) a maior permeabilidade em superfície pode estar relacionada com a maior quantidade de matéria orgânica como ocorreu para a avaliação da densidade do solo discutida para esta localidade anteriormente.

GRÁFICO 4 – VALORES MÉDIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (cm/h) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

4.1.3 Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade e Conteúdo de Água Disponível

Foram encontradas diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% para a macro e microporosidade do solo na área experimental de Itaiópolis entre os quatro métodos de preparo de solo avaliados. Os resultados estão representados nos

gráficos: 5 e 6 e as análises da variância obtidas para os parâmetros com diferenças estatísticas significativas encontram-se nos anexos 2 e 3.

Segundo PREVEDELLO (1996) os solos diferem muito em porosidade, alguns valores comumente encontrados em solos arenosos variam entre 0,35 a 0,50 m^3/m^3 enquanto que para solos com maiores teores de argila estes valores oscilam entre 0,40 e 0,65 m^3/m^3 . Os resultados obtidos em Itaiópolis de maneira geral estão de acordo com os valores citados pelo autor para solos de textura argilosa.

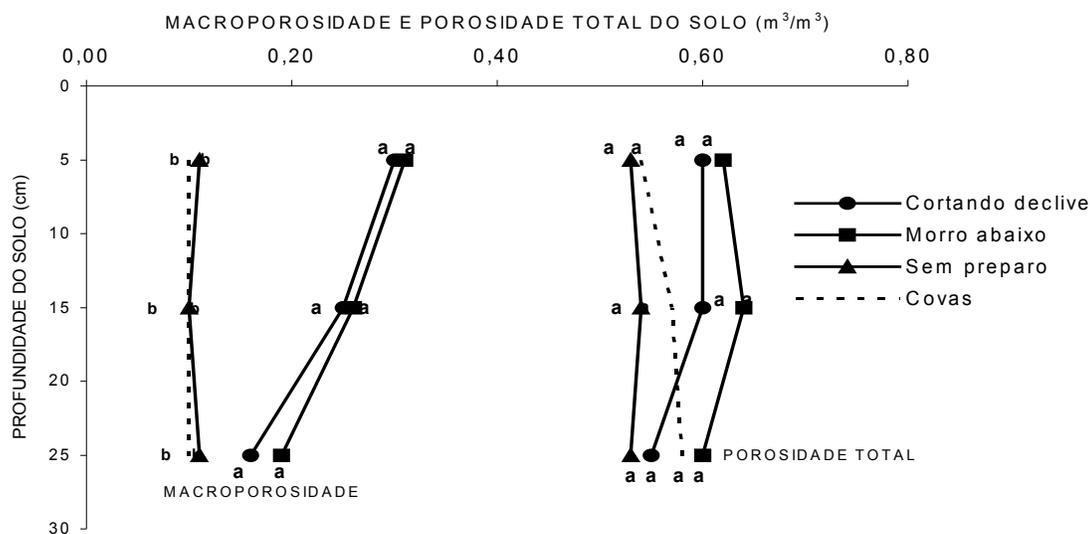
A porosidade total (gráfico 5) nesta área não manifestou diferenças estatísticas significativas entre os quatro tratamentos para as três profundidades avaliadas. A tendência dos resultados obtidos foi apresentar valores médios maiores de porosidade total nos tratamentos revolvidos comparativamente aos demais, principalmente nas camadas entre 0 a 10 e 10 a 20 cm. A mobilização do solo mais intensa nos tratamentos “Cortando declive” e “Morro abaixo” nas camadas superficiais reduziu a densidade do solo com conseqüente aumento em sua porosidade total. Os resultados de porosidade total para os tratamentos com revolvimento mais intensivo do solo apresentam-se entre 15% a 20% maiores que os resultados encontrados no tratamento “Sem preparo” e “Covas” nas profundidades entre 0 a 10 e 10 a 20 cm, sendo que na profundidade entre 20 a 30 cm os valores obtidos são mais próximos.

Os valores obtidos nos tratamentos “Sem preparo” e “Covas” embora menores não são considerados críticos, sendo compatíveis com os apresentados por GATTO et al. (2003) na avaliação do cultivo mínimo em relação a outros preparos de solo para o plantio florestal em solo de textura argilosa.

Os valores de macroporosidade diferiram estatisticamente ao nível de 5% entre os quatro tratamentos em todas as profundidades. Na análise da macroporosidade (gráfico 5) os tratamentos “Cortando declive” e “Morro abaixo” nas profundidades entre 0 a 10 e 10 a 20 cm são o dobro do valor obtido nos tratamentos sem revolvimento, sendo mais reduzidos na profundidade entre 20 e 30 cm. A menor macroporosidade em superfície era esperada para os tratamentos “Sem

preparo” e “Covas” uma vez que não ocorreu alteração da estrutura do solo ou esta foi menos intensa. Os menores valores médios de macroporosidade obtidos nos tratamentos sem preparo do solo e com coveamento encontram-se na faixa entre 0,10 e 0,11 m^3/m^3 , portanto próximos aos limites considerados críticos de acordo com HERBAUTS et al. (1996). Segundo estes autores, valores inferiores a 0,10 m^3/m^3 na macroporosidade podem comprometer a atividade microbiana aeróbica e a viabilidade de raízes.

GRÁFICO 5 – VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL E MACROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

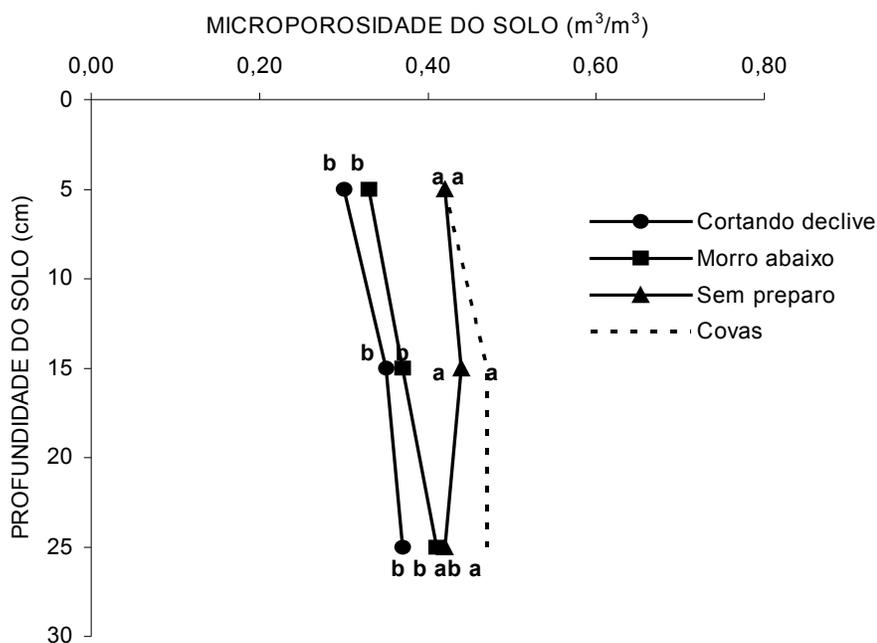


NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

As diferenças significativas obtidas entre os tratamentos para a microporosidade do solo (gráfico 6) mostram maiores valores médios para os tratamentos “Sem preparo” e “Covas”, estes valores são aproximadamente 25% maiores que os obtidos nas áreas com revolvimento intenso nas profundidades

entre 0 a 10 e 10 a 20 cm. Na profundidade entre 20 a 30 cm esta diferença passa a ser menos evidenciada. Como ocorreu menor revolvimento nestes tratamentos era esperado que sua estrutura fosse menos alterada, este parâmetro também está de acordo com a densidade do solo obtida nesta área na camada superficial que também apresentou valores maiores nesta área experimental. No geral os valores são concordantes com os obtidos por BEUTLER et al. (2001) que constataram valores em torno de $0,42 \text{ m}^3/\text{m}^3$ para solo de textura semelhante na profundidade entre 0 e 20 cm em plantio direto.

GRÁFICO 6 – VALORES MÉDIOS DE MICROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Os conteúdos de água disponível nesta área não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os quatro tratamentos nas profundidades avaliadas ao nível de 5% de significância (gráfico 7).

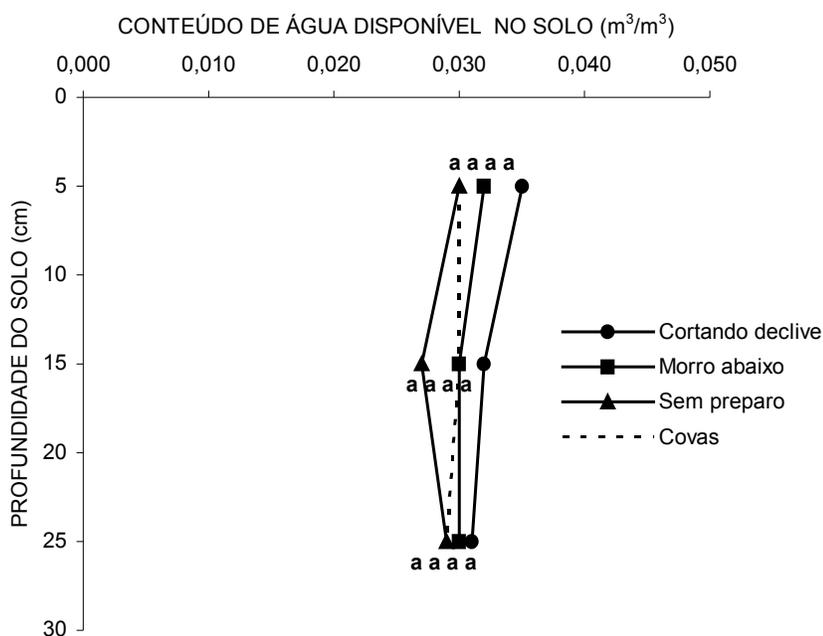
Conforme CANALLI (1993) o preparo do solo interfere diretamente em sua estrutura porosa determinando sua capacidade de armazenamento de água bem como os conteúdos de água disponível para as plantas. Os maiores valores médios para o conteúdo de água disponível no solo foram encontrados nos tratamentos “Morro abaixo” e “Cortando declive” nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, concordantes com os maiores valores de porosidade total também observados nestas profundidades nesta área experimental. Na profundidade entre 20 e 30 cm, houve uma redução dos valores médios obtidos nestes dois métodos de preparo de solo o mesmo ocorreu com a porosidade total analisada nesta profundidade nestes tratamentos.

O método de preparo “Covas” tende a apresentar conteúdos de água disponível menores que os métodos com revolvimento mais intensivo, no entanto os valores obtidos são mais uniformes em profundidade. O revolvimento localizado neste método de preparo alterou menos a estrutura porosa do solo.

Na ausência de preparo de solo, os teores de água disponível foram menores em todas as profundidades analisadas em função da não mobilização do solo não alterando a porosidade do mesmo. CANALLI (1993) analisando a influência de métodos de preparo na condição hídrica do solo, observou que a capacidade de água disponível foi menor na camada entre 0 a 20 cm evidenciada pela compactação superficial do solo em sistema de plantio direto. O autor destaca que normalmente em observações a curto prazo, os conteúdos de água podem ser menores em áreas sem revolvimento do solo, mas a longo prazo estes são maiores. De acordo com EDWARDS et al. (1990), o não revolvimento associado à cobertura morta no solo contribuem para o aumento do conteúdo de matéria orgânica e umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento da mesofauna que juntamente com o sistema

radicular das plantas promove o que pode ser chamado de preparo biológico do solo, justificando assim maior capacidade de água disponível a longo prazo.

GRÁFICO 7 – VALORES MÉDIOS DE CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Na área experimental de Três Barras foram obtidas diferenças significativas estatisticamente na avaliação da porosidade total, macro e microporosidade ao nível de significância de 5%. A análise da variância para estes parâmetros com resultados significativos estão relacionados nos anexos 4, 5 e 6. Os conteúdos de água disponível não manifestaram diferenças estatísticas nesta área experimental.

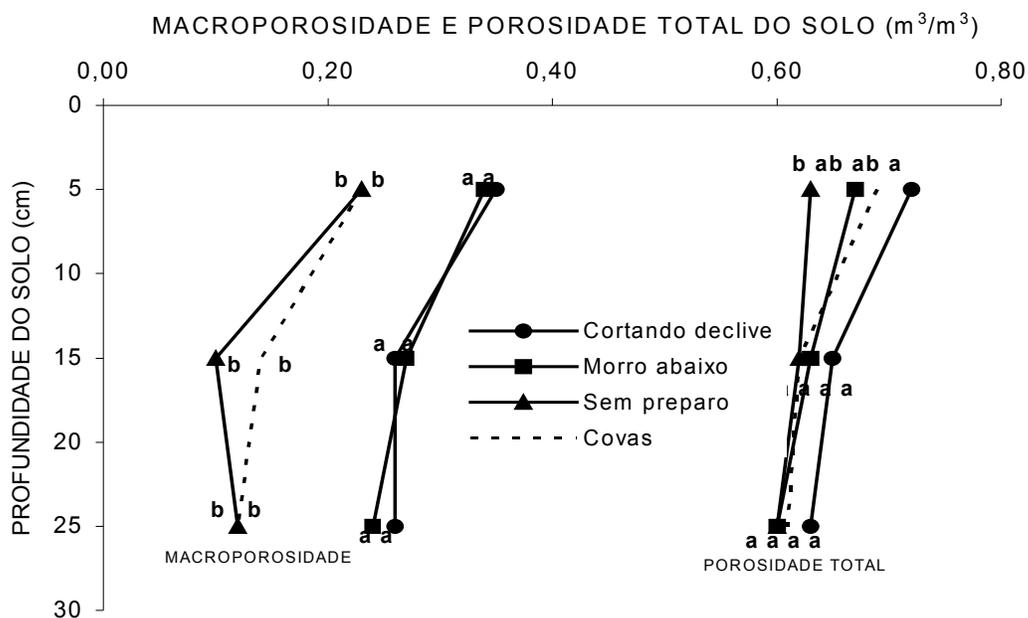
Os resultados obtidos na análise da porosidade total (gráfico 8) para a área experimental de Três Barras apresentaram diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% entre os quatro tratamentos analisados para a profundidade entre 0 a 10

cm. Os valores médios obtidos para a porosidade total no geral, também estão de acordo com os citados por PREVEDELLO (1996) na faixa entre 0,40 e 0,65 m³/m³. Para os tratamentos com maior revolvimento de solo, como já analisado na área experimental anterior os valores médios obtidos são maiores sobretudo na camada entre 0 e 10 cm. Nesta profundidade os tratamentos “Cortando declive”, “Morro abaixo” e “Covas” apresentam valores entre 10 a 16% maiores de porosidade total que os obtidos no tratamento “Sem preparo”. Nas profundidades entre 10 a 20 e 20 a 30 cm as diferenças são menos evidenciadas entre os tratamentos, no entanto o tratamento “Covas” e “Sem preparo” manifestam valores de porosidade total menores em função da ausência ou menor mobilização do solo e conseqüentemente menor alteração de sua estrutura.

A macroporosidade (gráfico 8) na área experimental de Três Barras apresentou diferenças estatísticas significativas nas três profundidades analisadas. Os valores médios obtidos tendem a apresentar acréscimos nos tratamentos com maior revolvimento de solo em função da modificação na estrutura em concordância com os parâmetros anteriormente descritos como densidade do solo e permeabilidade. Os valores obtidos nos tratamentos “Cortando declive” e “Morro abaixo” são aproximadamente 55% maiores que os obtidos nos demais tratamentos na camada entre 0 e 10 cm. Nas profundidades entre 10 a 20 cm e 20 a 30 cm os valores de macroporosidade tendem a apresentar menores valores em todos os tratamentos, no entanto nos tratamentos “Sem preparo” e “Covas” são significativamente menores.

Na camada superficial (0 a 10 cm) observou-se uma redução na porosidade total e macroporosidade e aumentos na microporosidade, no tratamento “Sem preparo” em função da não movimentação do solo. O tratamento “Covas” onde esta movimentação é localizada, também tende a apresentar este comportamento. Os valores médios obtidos nestes dois tratamentos estão acima ou na faixa de 0,10 m³/m³. Abaixo deste valor HERBAUTS et al. (1996) consideram valores críticos para macroporosidade do solo.

GRÁFICO 8 – VALORES MÉDIOS DE POROSIDADE TOTAL E MACROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS



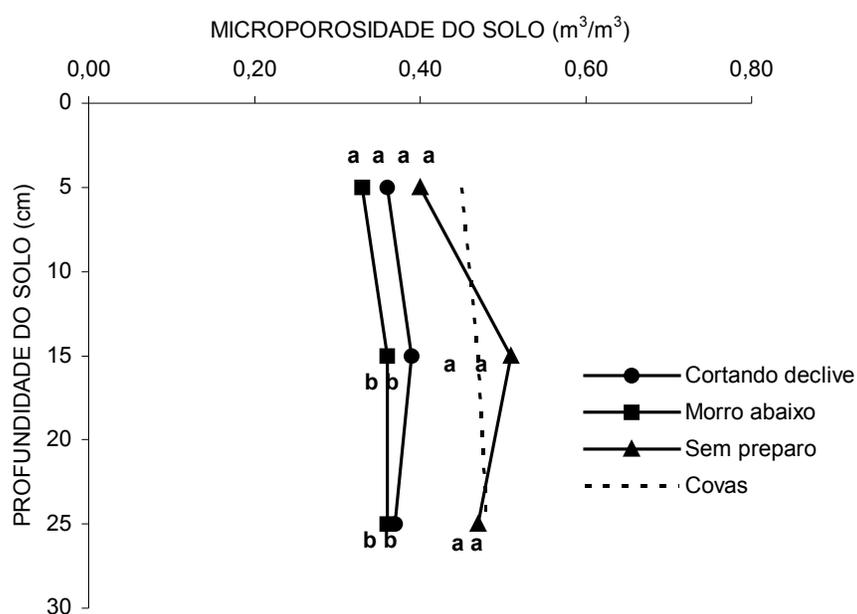
NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

A microporosidade nesta área experimental (gráfico 9) apresentou diferenças estatísticas significativas nas profundidades entre 10 a 20 cm e 20 a 30 cm apresentando valores de microporosidade do solo, cerca de 20% maiores para os tratamentos “Sem preparo” e “Covas” em relação aos tratamentos com revolvimento mais intenso.

Também na camada superficial, mesmo sem diferenças estatísticas significativas os valores mais elevados para este parâmetro foram obtidos nos tratamentos com menor mobilização de solo. Os valores de macro e

microporosidade do solo obtidos nesta área concordam com os descritos por BRITO et al. (2005) em métodos de preparo do solo similares para o plantio de espécies florestais, principalmente “Morro abaixo” e “Cortando declive”. Os autores comprovaram que o preparo do solo para o plantio afeta estes atributos do solo, no entanto não apresentaram correlação significativa com perdas de solo na avaliação da erosão hídrica das áreas de estudo.

GRÁFICO 9 – VALORES MÉDIOS DE MICROPOROSIDADE DO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

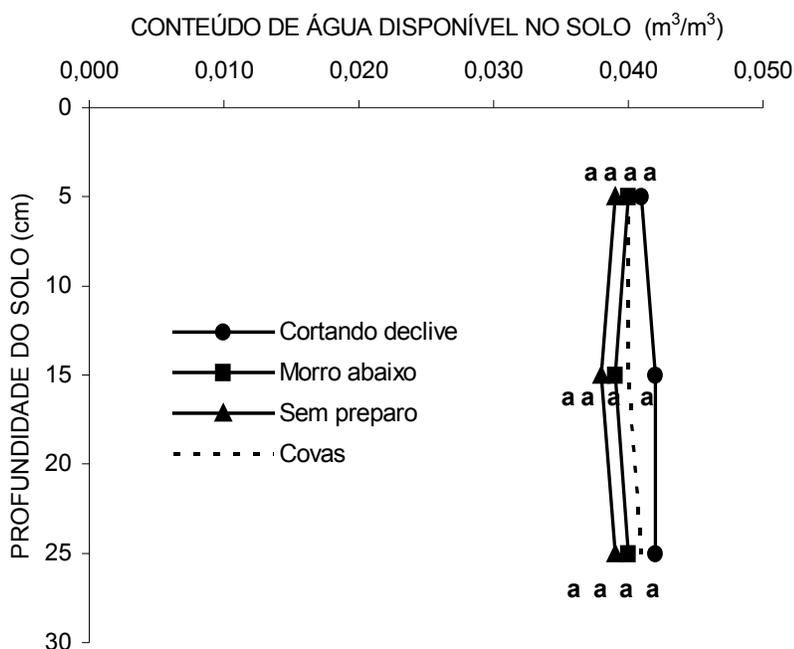
Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os métodos de preparo de solo em nenhuma das profundidades analisadas para o conteúdo de água disponível, na área experimental de Três Barras (gráfico 10).

Da mesma forma que ocorreu na área experimental de Itaiópolis, os tratamentos “Cortando declive”, “Morro abaixo” e “Covas” manifestaram os maiores conteúdos de água disponível na camada superficial (0 a 10 cm) considerando que também a porosidade total nestes tratamentos foi mais elevada nesta profundidade.

Para os tratamentos “Cortando declive” e “Covas” os maiores conteúdos de água disponível foram mantidos nas profundidades entre 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, mas o tratamento “Morro abaixo” mesmo sem diferenças estatisticamente significativas manifestou valores menores em relação a estes dois tratamentos. O tratamento “Sem preparo” apresentou os menores valores em todas as profundidades para este parâmetro comparativamente aos demais tratamentos.

Os maiores resultados são encontrados na camada superficial, onde também os valores médios obtidos para a porosidade total e macroporosidade foram maiores neste tratamento. Conforme CANALLI (1993) a estrutura porosa define o potencial do solo para o armazenamento de água, que é estabelecido à partir de sua microporosidade, entretanto a macroporosidade e sua continuidade no perfil são importantes para permitir a drenagem da água em profundidade.

GRÁFICO 10 – VALORES MÉDIOS DO CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO (m^3/m^3) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS EM TRÊS CLASSES DE PROFUNDIDADE NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS



NOTA: Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

4.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO

A tabela 1 apresenta os valores médios de umidade gravimétrica do solo no momento das amostragens de resistência mecânica, realizadas no mesmo dia em cada área experimental.

TABELA 1 – UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO NO MOMENTO DA AMOSTRAGEM PARA AS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

LOCAL	profundidade	umidade gravimétrica
SOLO	cm	(g/g)
ITAIÓPOLIS (Textura Argilosa)	0 a 10	0,28
	10 a 20	0,28
	20 a 30	0,29
	30 a 40	0,31
TRÊS BARRAS (Textura Muito Argilosa)	0 a 10	0,38
	10 a 20	0,38
	20 a 30	0,4
	30 a 40	0,4

Os valores médios de resistência mecânica do solo à penetração para a área experimental de Itaiópolis não apresentaram diferenças significativas estatisticamente em nenhum dos pontos e profundidades avaliadas ao nível de 5% de significância.

De acordo com os critérios de CAMARGO et al. (1997) valores de resistência mecânica do solo com textura argilosa obtidos acima de 1 MPa, representam compactação moderada à severa. No entanto ARSHAD et al. (1996) considera 2 MPa como o limite entre resistência mecânica à penetração moderada e alta. A área experimental de Itaiópolis onde o solo apresenta textura menos argilosa que em Três Barras, os valores obtidos não ultrapassaram 2 MPa em nenhuma distância da linha de tocos ou profundidade avaliada.

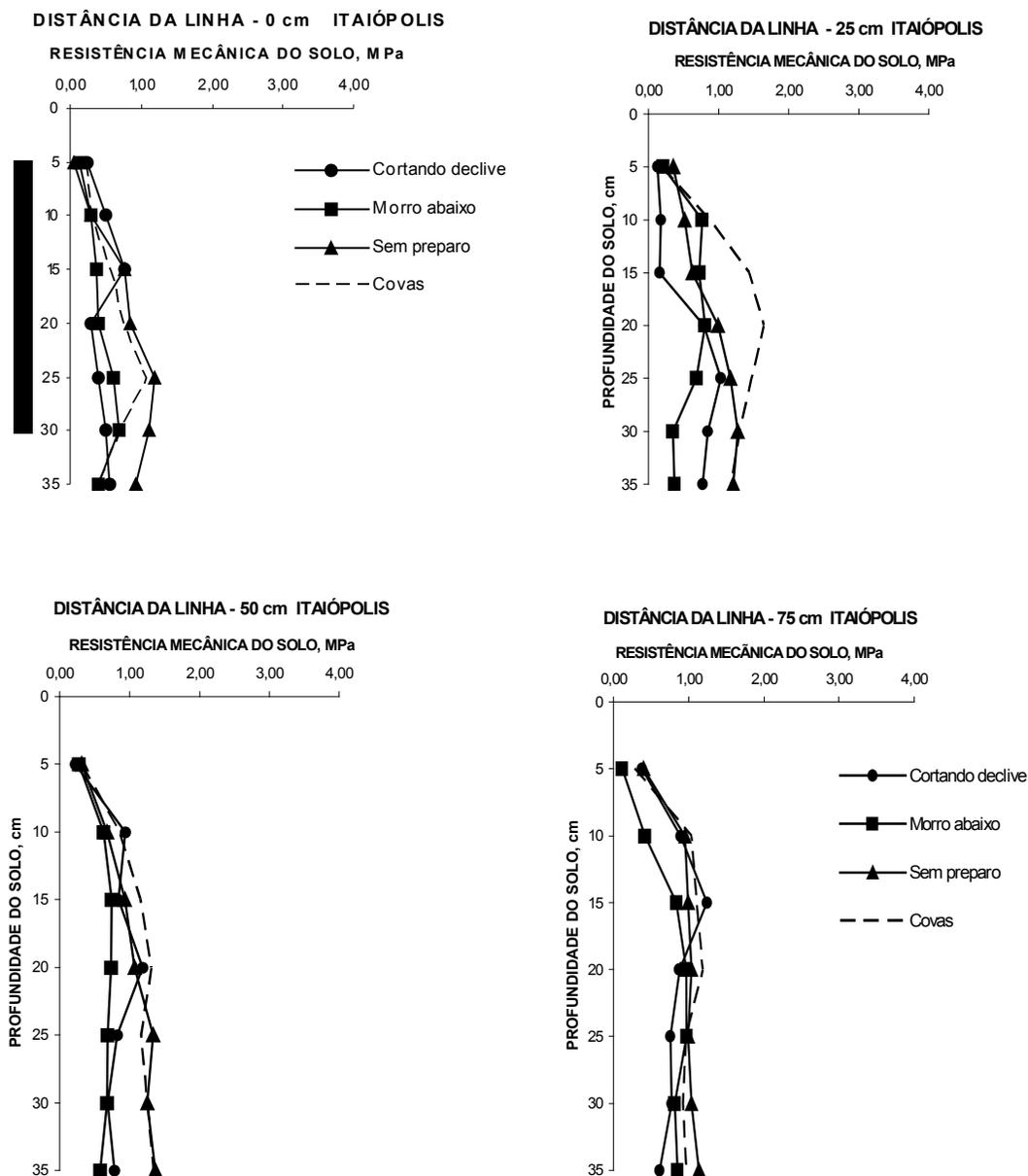
A amostragem, no ponto da linha de tocos (0) é dificultada pela grande presença de raízes que interferem na penetração da haste do penetrógrafo. Este fato ainda é constatado aos 25 cm de distância da linha, que acaba apresentando valores de resistência mecânica do solo mais altos em todos os tratamentos a partir dos 10 cm de profundidade. Ainda, aos 25 cm de distância da linha de tocos, acréscimos nos valores obtidos podem ser justificados pela pressão do rodado gerado na colheita e na ocasião do preparo do solo.

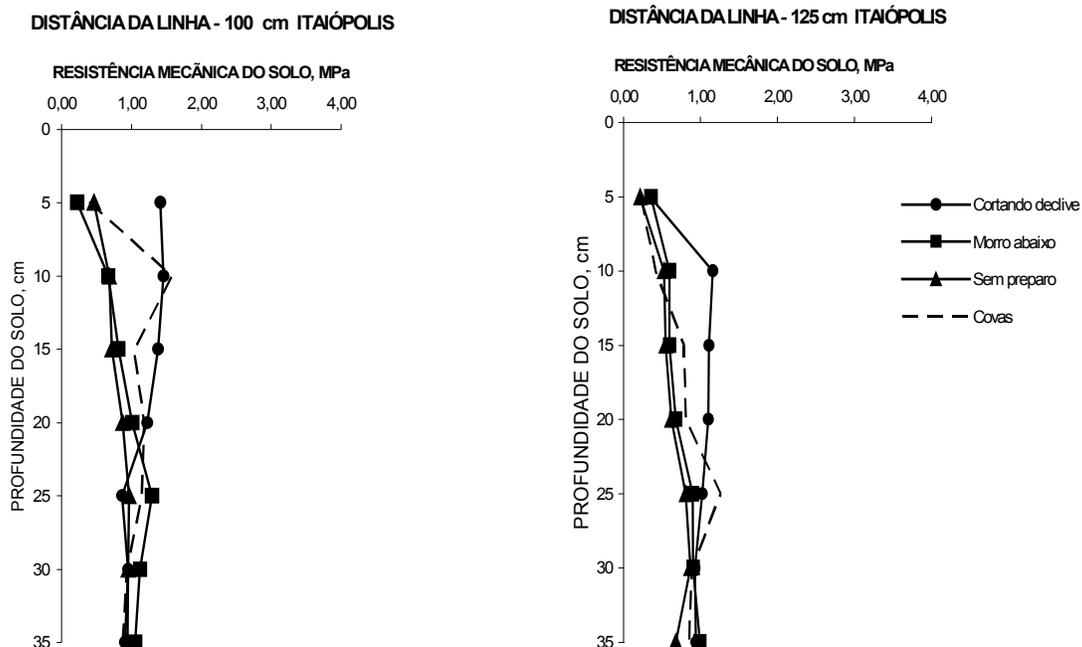
Os resultados na avaliação deste parâmetro tendem a apresentar comportamento pouco diferenciado nas distâncias entre 50 e 75 cm da linha de tocos. Nos resultados obtidos aos 100 cm de distância da linha os tratamentos “Cortando o Declive” e “Covas”, mostraram acréscimos até os 25 cm de profundidade. Provavelmente estes tratamentos tenham recebido casualmente mais passagens de máquinas, possivelmente na ocasião da colheita.

Aos 125 cm, a tendência geral dos resultados médios obtidos é mostrar resultados menores de resistência mecânica, fato esperado uma vez que no meio da entrelinha (nova linha de plantio) os efeitos do revolvimento do solo tornam-se mais evidentes. O tratamento “Sem preparo” manteve valores baixos, provavelmente justificados pela presença de resíduos sobre o solo melhor distribuídos que na área coveada, ou por ter recebido menos passagem de máquinas uma vez que não houve preparo do solo. Entre os tratamentos com revolvimento, o “Cortando declive” manifestou valores mais elevados aos 10 cm de profundidade em relação ao “Covas” e “Morro abaixo”. Este fato pode ser explicado pela maior dificuldade da operação do preparo do solo realizado com esta orientação, considerando a presença de tocos antigos, por exemplo.

A seqüência do gráfico 11 mostra o comportamento deste parâmetro para os quatro tratamentos em todas as distâncias da linha de tocos e profundidades do solo avaliadas em Itaiópolis.

GRÁFICO 11 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (MPa) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS NAS DISTÂNCIAS DA LINHA DE TOCOS – 0, 25, 50, 75, 100, 125 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS





Na área experimental de Três Barras os valores encontrados na avaliação deste parâmetro são maiores que os encontrados em Itaiópolis.

No ponto 0 – linha de tocos, os valores elevados se justificam pela grande quantidade de raízes que chega a dificultar a amostragem impedindo a penetração da haste do penetrógrafo no solo em alguns pontos, fato que ocorreu também em Itaiópolis. Os pontos entre 25 e 50 cm de distância da linha, normalmente sofrem a pressão do rodado das máquinas na colheita ou preparo do solo, deste modo tendem a apresentar os maiores resultados de resistência mecânica do solo à penetração. Os tratamentos “Sem Preparo” e “Covas”, aos 50 cm de distância passam a alcançar valores médios considerados críticos para os solos argilosos. O mesmo acontece aos 75 cm da linha onde os valores se aproximam de 4 MPa, caracterizando problemas graves com compactação do solo. Os tratamentos com revolvimento, de modo geral apresentaram valores mais reduzidos de resistência mecânica do solo principalmente a partir dos 50 cm de distância da linha de tocos.

Aos 75 cm de distância da linha de tocos os tratamentos “Sem preparo” e “Covas” mostraram acréscimos em relação aos tratamentos com revolvimento mais intenso. Entre 100 e 125 cm de distância da linha de tocos, percebe-se que os valores de resistência decrescem, principalmente para os tratamentos com maior revolvimento: “Cortando o Declive” e “Morro Abaixo”. Percebe-se para o tratamento “Covas” que os valores de resistência apresentam reduções à medida que se aproximam do meio da linha de plantio (100 cm de distância da linha de tocos), atingindo a área coveada. No entanto no tratamento “Sem preparo” os valores tendem a aumentar neste ponto.

Aos 125 cm, para o tratamento “Sem Preparo” novamente observa-se alta resistência mecânica do solo. Neste ponto, os valores médios obtidos geraram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, na camada entre 5 e 10 cm de profundidade do solo. A tabela abaixo mostra a análise de variância.

TABELA 2 - ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO EM TRÊS BARRAS A 125 cm DE DISTÂNCIA DA LINHA DE TOCOS E PROFUNDIDADE ENTRE 5 E 10 cm.

causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Resistência	3	4,613741	1,537914	10,5829	0,00604
Resíduo	7	1,017243	0,145321		
Total	10	5,630985			

coef. variação: 56,9%

Tratam.	Médias (MPa)	Tukey 5%
Sem preparo	1,709	a
Covas	0,4115	b
Cortando declive	0,215	b
Morro abaixo	0,081	b

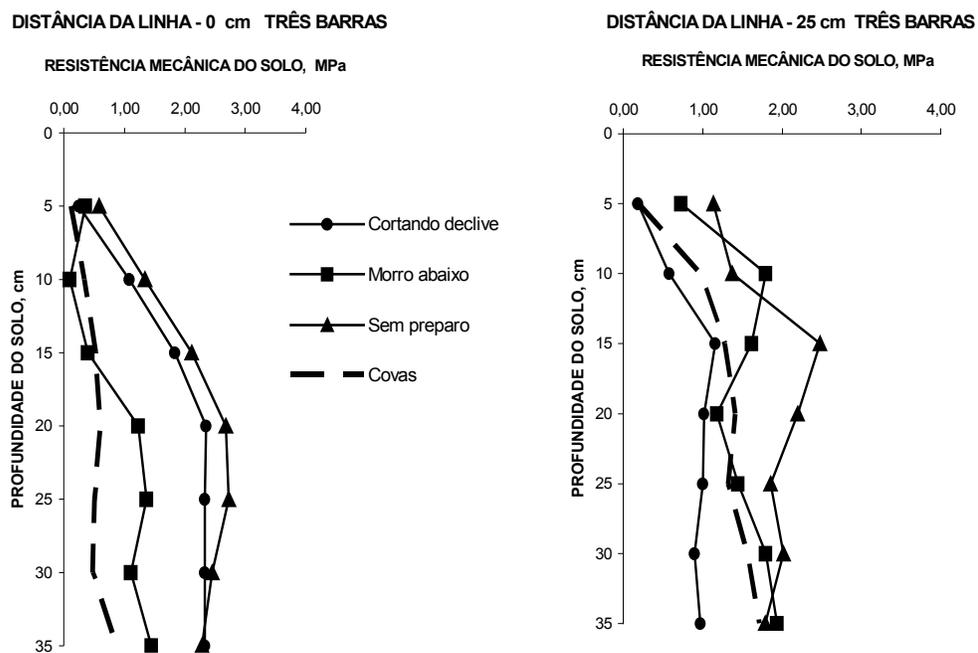
Nota: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

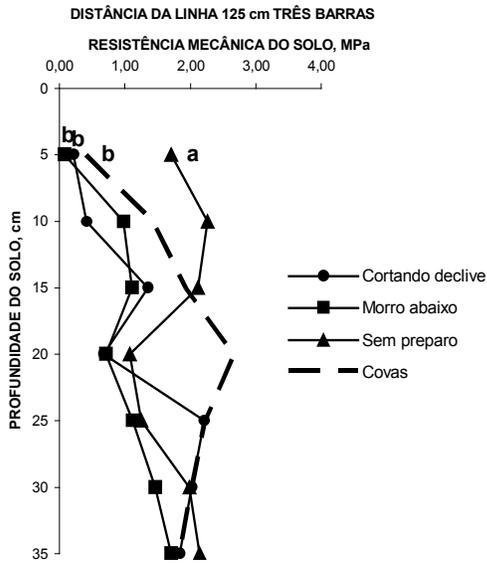
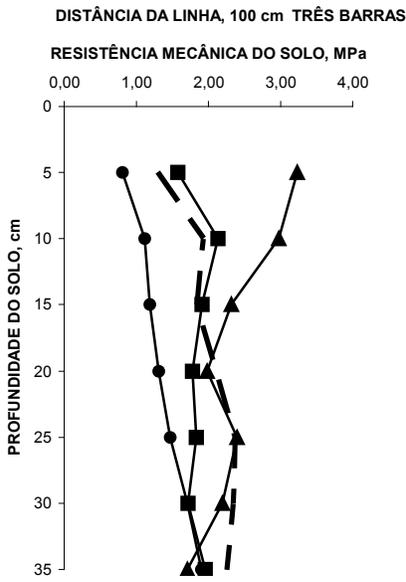
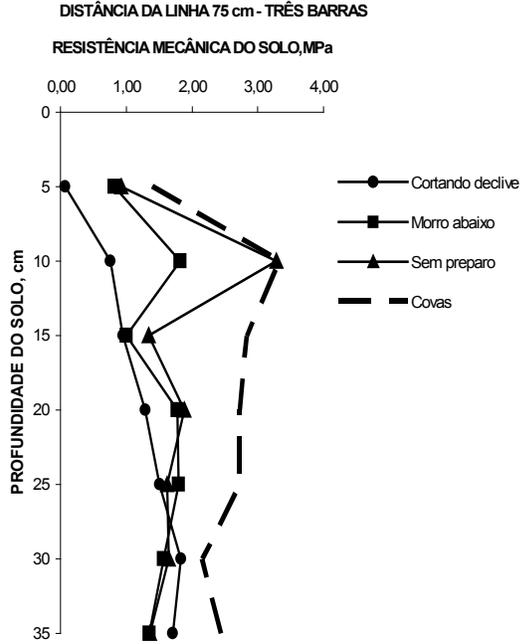
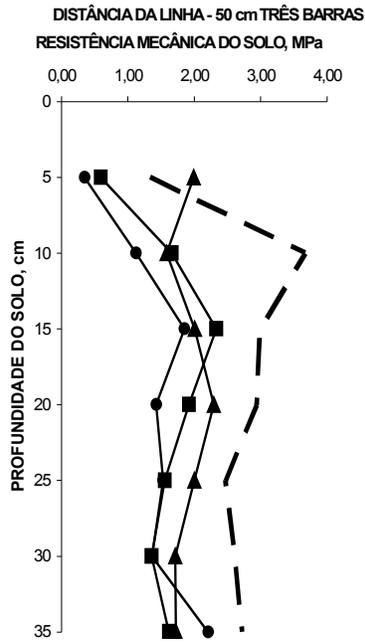
Conforme VOORHEES (1983) a resistência mecânica do solo à penetração é um indicador mais sensível da condição física do solo que a densidade. Em Três

Barras a densidade do solo não apresentou valores críticos que pudessem acusar compactação do solo, no entanto na avaliação com o penetrógrafo esses resultados foram evidenciados.

O gráfico 12 mostra o comportamento deste parâmetro para Três Barras.

GRÁFICO 12 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO (MPa) POR MÉTODO DE PREPARO, MEDIDOS NAS DISTÂNCIAS DA LINHA DE TOCOS – 0, 25, 50, 75, 100, 125 cm NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

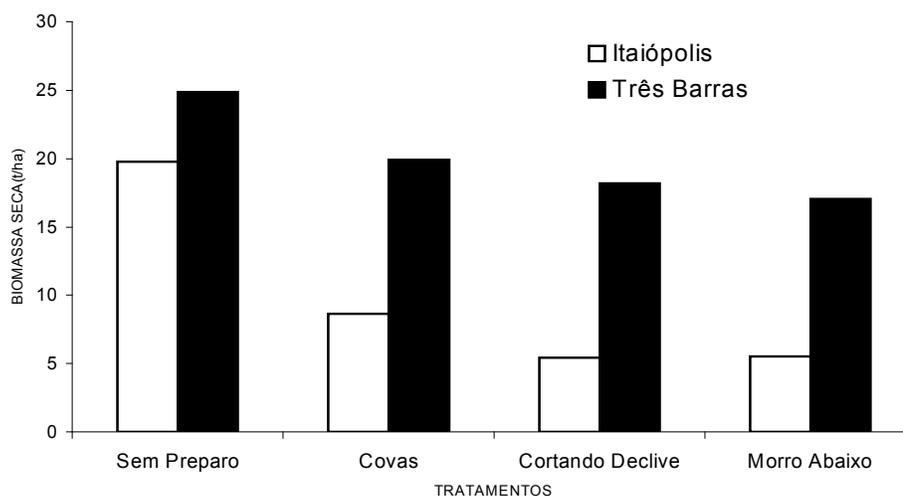




4.3 QUANTIFICAÇÃO DO RESÍDUO (BIOMASSA SECA) NAS DUAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

A quantidade de biomassa avaliada em cada tratamento na área experimental de Itaiópolis submetida à análise estatística, não demonstrou diferenças significativas ao nível de significância de 5%. Os valores médios obtidos no tratamento “Sem preparo” foram superiores aos demais tratamentos. Na área experimental de Três Barras, os valores médios de resíduo obtidos em cada tratamento também não diferiram estatisticamente. No entanto no geral a quantidade de biomassa quantificada nesta localidade foi superior a encontrada em Itaiópolis. O gráfico 13 apresenta a quantidade média de resíduo obtida em cada tratamento e em cada área experimental, extrapolada para toneladas /hectare de matéria seca.

GRÁFICO 13 – COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS VEGETAIS (BIOMASSA SECA - t/ha) POR MÉTODO DE PREPARO, PROVENIENTES DA COLHEITA NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS



Conforme ilustra o gráfico 13 comparativamente em Três Barras, mesmo nos tratamentos com maior revolvimento de solo as quantidades de resíduo nesta localidade foram bem maiores do que na outra área experimental analisada. As perdas de solo em Três Barras foram menores do que em Itaiópolis, principalmente em função da menor declividade, no entanto a cobertura de solo por resíduos apresenta um fator de grande relevância na redução das perdas de solo por erosão hídrica.

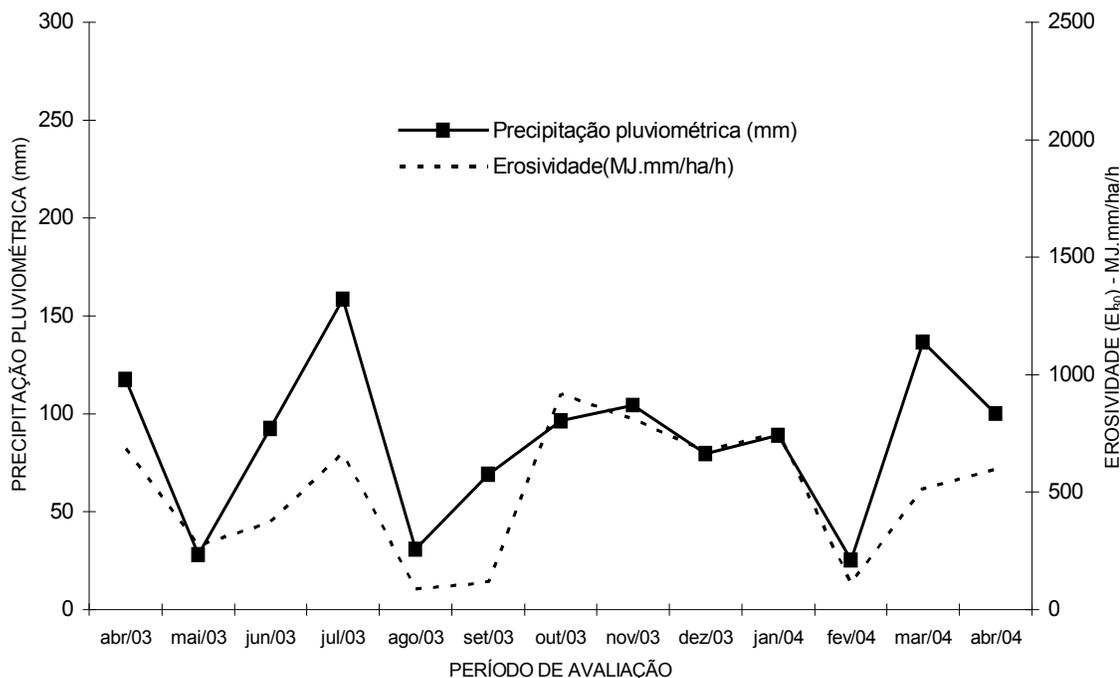
Vários autores destacam a importância da cobertura do solo que atua como barreira dificultando sua desagregação pelo impacto das gotas, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e desta forma favorecendo maior infiltração de água e menores quantidades de solo transportado (SILVA et al., 1998). De acordo com BERTOL e COGO (1996) a presença do resíduo se constitui em uma maneira eficaz e econômica de controle da erosão hídrica do solo. Outros aspectos que devem ser destacados e que justificam diferenças de perdas de solo mesmo entre tratamentos com quantidades equivalentes de resíduos, e que não foi avaliado neste experimento, é o tipo de material que o compõem. A eficácia dos resíduos depende de fatores como: tipo, quantidade, percentagem de cobertura de solo e ainda o estágio de decomposição dos mesmos sobre o solo (BERTOL; COGO, 1996).

4.4 QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA POR EROSÃO HÍDRICA

4.4.1 Precipitação Ocorrida no Período de Monitoramento nas Duas Áreas Experimentais

Em Itaiópolis o período de avaliação foi compreendido entre abril de 2003 (na instalação do experimento) e abril de 2004, a precipitação somou neste período 1124,8 mm e a erosividade $6931,8 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$. A distribuição da precipitação e erosividade correspondente no período estão ilustradas no gráfico 14.

GRÁFICO 14 – PRECIPITAÇÃO (mm) E EROSIVIDADE (MJ.mm/ha/h) MENSAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO

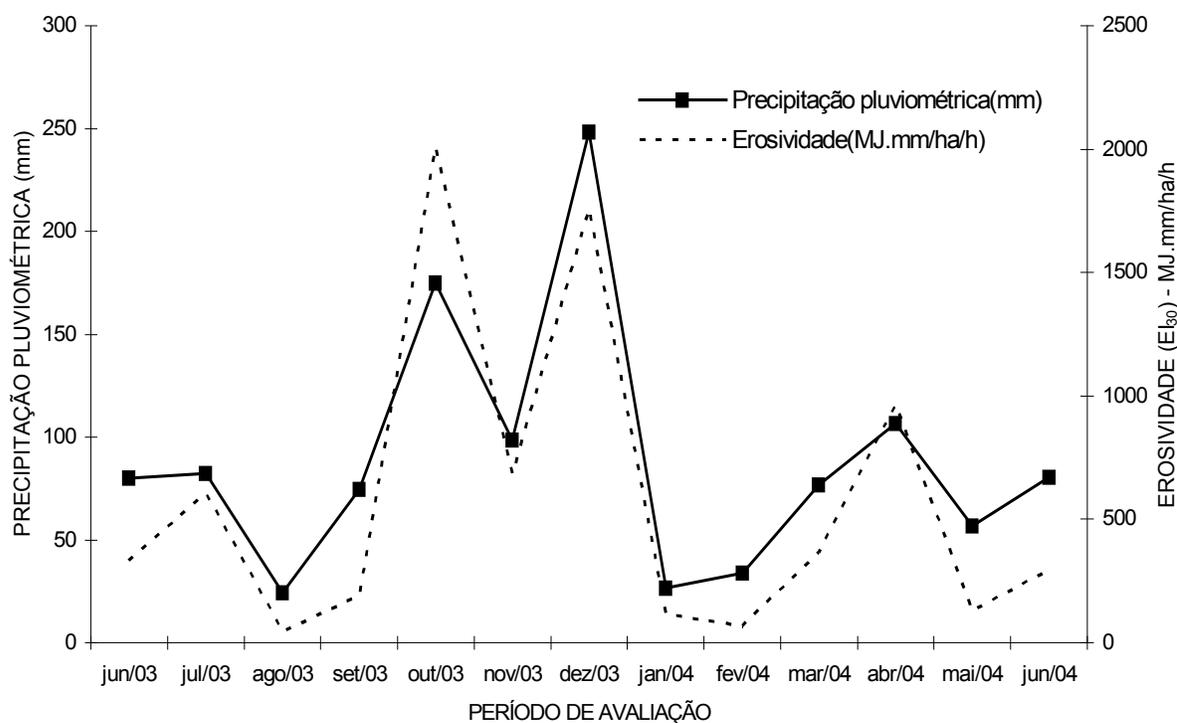


A precipitação pluviométrica na área experimental de Itaiópolis foi bem distribuída durante o período de monitoramento. Os eventos de chuva foram mais freqüentes e com menor erosividade comparativamente à área experimental de Três Barras. As chuvas com maior potencial erosivo concentraram-se no período entre outubro de 2003 a janeiro de 2004.

Na localidade de Três Barras, a instalação do experimento também foi efetuada em abril de 2003, mas o período de avaliação foi compreendido entre junho de 2003 a junho de 2004 uma vez que as precipitações ocorridas nos meses de abril e maio de 2003 foram mínimas, não gerando sedimentos ou água para coleta nesta localidade. A precipitação somou neste período 1214,6 mm e a erosividade 7570,3 MJ mm ha⁻¹h⁻¹. Os eventos de chuva foram menos freqüentes, no entanto as chuvas

foram mais intensas. Os maiores índices de erosividade das chuvas concentraram-se entre outubro e dezembro de 2003. No gráfico 15 estão representadas a distribuição da precipitação pluviométrica e a erosividade no período avaliado na área experimental de Três Barras.

GRÁFICO 15– PRECIPITAÇÃO (mm) E EROSIVIDADE (MJ.mm/ha/h) MENSAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO



A análise do regime das chuvas é extremamente necessária, uma vez que a distribuição do potencial erosivo destas é diferenciado durante o ano. Desta forma é possível evidenciar os meses críticos onde a capacidade erosiva da chuva é maior e realizar um planejamento das práticas de manejo e conservação do solo (DEDECEK, 1974).

Em Três Barras a distribuição das chuvas foi menos uniforme concentrando

chuvas mais intensas em um determinado período do ano (verão). Desta forma, percebe-se a importância de um planejamento das operações de preparo visando expor o solo o mínimo possível nesta época do ano, principalmente em maiores declividades. Já, as características das chuvas observadas na área experimental de Itaiópolis, em conjunto com outros fatores, podem favorecer maiores perdas de nutrientes. De acordo com QUINTON et al. (2001) os sedimentos transportados pela enxurrada em pequenos eventos de chuva são mais enriquecidos por nutrientes que os sedimentos transportados nos grandes eventos. A explicação para esse fato é que, para o carreamento das finas frações de solo é suficiente o escoamento superficial com menor energia de transporte. Pode-se considerar ainda que, há um número maior de pequenos eventos do que de grandes eventos, assim a maior frequência de pequenos eventos combinada com o enriquecimento dos sedimentos, pode favorecer uma maior perda de nutrientes do que a perda nos grandes eventos.

4.4.2 Perdas de Solo nas Duas Áreas Experimentais

As perdas de solo foram diferenciadas entre as duas áreas experimentais analisadas. Além da distribuição da precipitação pluviométrica apresentar comportamento distinto entre as duas localidades, as características dos solos favoreceram estes resultados. Entre as duas localidades analisadas, pode-se destacar as diferenças na textura e declividade dos solos em estudo.

Na área experimental de Itaiópolis a declividade mais acentuada apresentou maior susceptibilidade ao processo erosivo, sendo que mesmo pequenos eventos de chuva apresentaram coletas de sedimentos. Um aspecto importante observado em campo, é que boa parte dos sedimentos fica retida na extensão do declive e nas canaletas antes de chegar na calha (*Roda Coshocton*). Desta forma, mesmo as precipitações com baixa erosividade acabam desalojando um grande volume de sedimentos para a calha. Isso justifica a necessidade da avaliação ser efetuada no período mínimo de um ano relacionando a quantidade e intensidade das chuvas neste

período com a soma de solo erodido correspondente. Na área experimental de Três Barras, a menor declividade contribuiu para menores perdas de solo, relevos mais planos podem ter pouca ou nenhuma enxurrada, e conseqüentemente ocorre pouco transporte de solo (ANTONANGELO, 2004).

Em relação à textura, solos com maiores porcentagens de silte ou areia fina em sua composição são mais erodíveis que os solos argilosos em função do efeito de ligação da argila. Também, conforme (WISCHMEIER et al., 1971) teores elevados de argila e matéria orgânica geralmente, mas não necessariamente contribuem para reduzir a erodibilidade do solo. Na área experimental de Itaiópolis o solo apresentou textura menos argilosa e maiores teores de areia fina em sua composição, este fato associado a maior declividade favoreceu o processo erosivo, contribuindo para maiores perdas de solo, enquanto que em Três Barras, a textura muito argilosa e menor declividade do solo e ainda, maior cobertura por resíduos de colheita, reduziu a susceptibilidade do solo à erosão.

4.4.2.1 Perdas de Solo na Área Experimental de Itaiópolis

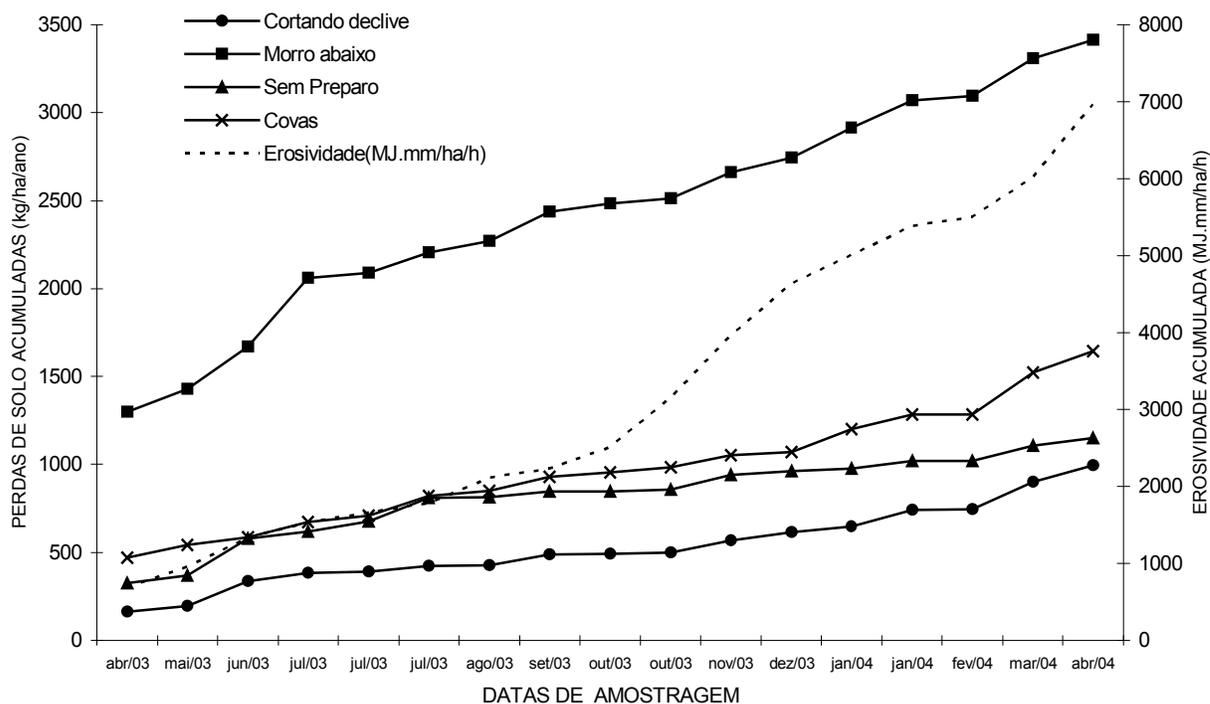
As perdas de solo acumuladas no período de avaliação e a erosividade da chuva (EI_{30}) acumulada estão ilustradas no gráfico 16.

Percebe-se perdas elevadas de solo acumuladas para o tratamento “Morro Abaixo”, desde o início da avaliação em relação aos demais tratamentos.

No mês de instalação até agosto, as chuvas embora em maior quantidade neste período não foram tão intensas, conseqüentemente a erosividade foi menor (gráfico 14) no entanto o método de preparo de solo “Morro abaixo” manifestou perdas de solo superiores aos demais tratamentos desde o início, comprovando que a orientação do preparo de solo influencia fortemente o processo erosivo.

As menores perdas de solo acumuladas no período de avaliação foram verificadas no método de preparo “Cortando declive” sendo resultados mais próximos aos observados na ausência de preparo. Na área com coveamento os resultados obtidos de perda de solo apresentam-se maiores que os obtidos nestes dois últimos. A exceção do tratamento “Morro abaixo”, nos demais tratamentos os maiores valores de perdas de solo concentram-se no período de maior erosividade.

GRÁFICO 16 – PERDAS DE SOLO ACUMULADAS (kg/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO E EROSIVIDADE DA CHUVA ACUMULADA (MJ. mm/ ha/h) EM ITAIÓPOLIS NO PERÍODO DE AVALIAÇÃO



A análise da variância para as perdas de solo nesta área experimental mostrou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados ao nível de significância de 5%. Para a análise estatística das perdas de solo, nas duas áreas experimentais, foram consideradas como repetições somente os eventos de chuva que geraram sedimentos e água em todos os tratamentos, sendo considerados os sedimentos coletados na calha juntamente com o depositado no balde, tendo-se quilos por parcela, por evento de chuva no período avaliado.

As perdas de solo no tratamento “Morro abaixo” foram bastante superiores aos demais tratamentos. O tratamento “Sem preparo” e “Cortando declive” apresentaram resultados bastante próximos e o tratamento “Covas” embora com pouca mobilização de solo, manifestou perdas de solo maiores que estes. A análise da variância para as perdas de solo na área experimental de Itaiópolis, encontra-se na tabela 3.

As perdas de solo observadas no período de um ano em todos os métodos de preparo de solo analisados estão abaixo dos limites de tolerância considerados para solos profundos e sem restrições ao crescimento de raízes, em torno de 11,2 t/ha/ano de acordo com LAL (1998). Considerando t/ha/ano, incluindo todas as coletas efetuadas no período (considerando sedimento da calha somado ao volume da enxurrada) as perdas de solo verificadas para o tratamento “Morro abaixo” foram: 3,5 t/ha/ano. Estes valores são concordantes com os citados por GONÇALVES (2002) para pinus com uso de queima e grade pesada onde foram encontrados valores em torno de 3,28 t/ha/ano no primeiro ano de plantio. PYE e VITOUSEK (1985) citam valores obtidos na preparação intensiva do sítio florestal com uso de grades entre 4 e 10 t/ha/ano em área com relevo moderado.

TABELA 3 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA AS MÉDIAS DE PERDAS DE SOLO (kg/parcela/evento) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Tratamentos	3	106,888	35,629	8,649	0,00027
Resíduo	44	181,240	4,119		
Total	47	288,129			

c.v. 54,10%

Perdas médias de solo (Kg/parcela/evento) Tukey 5%	
Tratam.	
Morro abaixo	6,112 a
Covas	3,951 ab
Cortando declive	2,390 b
Sem preparo	2,550 b

Nota: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey

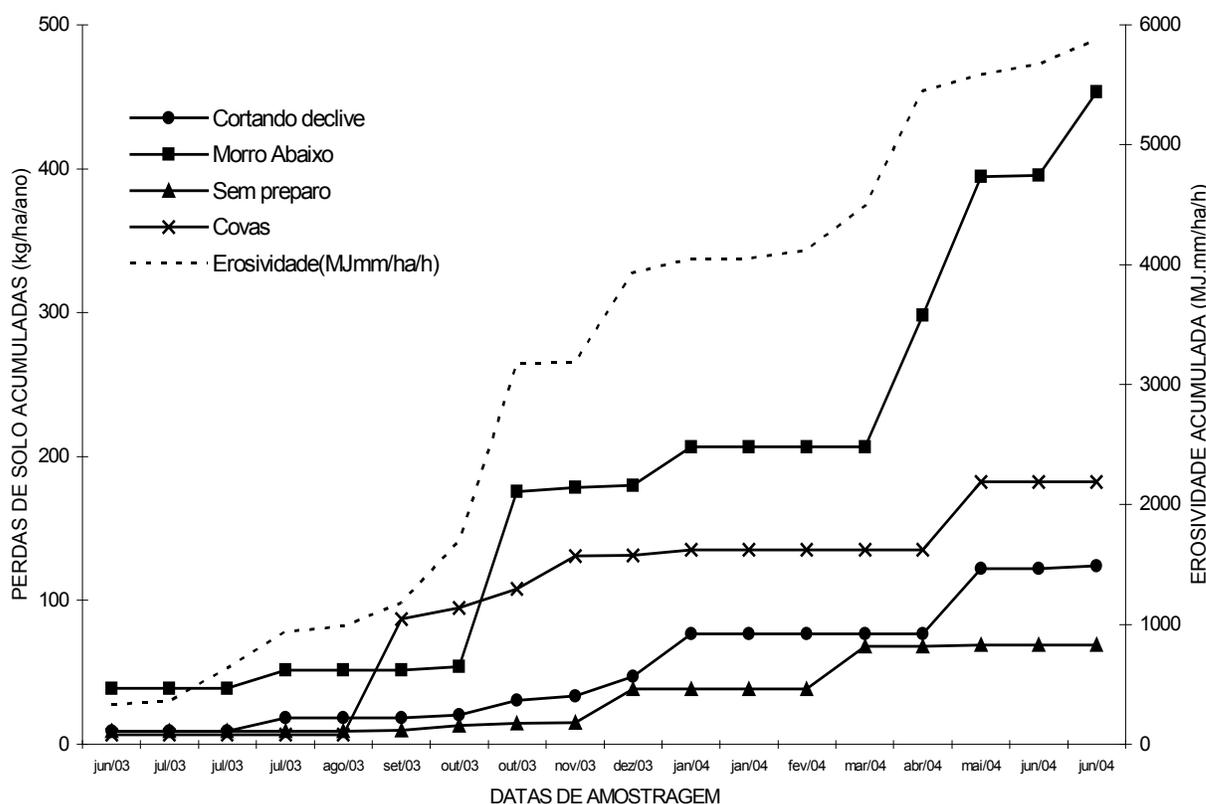
4.4.2.2 Perdas de Solo na Área Experimental de Três Barras

Conforme ilustra o gráfico 17 a relação entre os picos de chuva e maiores quantidades de sedimentos amostrados foram melhor evidenciadas em todos os métodos de preparo do solo nesta área experimental do que na de Itaiópolis. Os valores representados no gráfico estão relacionados com a soma do sedimento acumulado coletado a cada quinzena.

Em Três Barras as perdas de solo observadas em função dos métodos de preparo de solo empregados foram baixas em relação aos limites de tolerância de perdas de solo propostos por LAL (1998). Mesmo o tratamento “Morro abaixo” manifestou valores abaixo de 1t/ha/ano. Esta área experimental apresenta declividade menor que em Itaiópolis e também textura de solo com maiores conteúdos de argila, justificando desta forma o menor processo erosivo. A distribuição da chuva é outro aspecto importante, considerando que os eventos com maior EI₃₀ concentraram-se em um período determinado do ano (outubro a

dezembro/2003) gerando nesta fase as maiores perdas de solo em todos os tratamentos.

GRÁFICO 17 – PERDAS DE SOLO ACUMULADAS (kg/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO E EROSIVIDADE DA CHUVA ACUMULADA (MJ. mm/ ha/h) EM TRÊS BARRAS NO PERÍODO DE AVALIAÇÃO



A análise da variância para as perdas de solo nesta área experimental, realizada da mesma forma que para a área de Itaiópolis, mostrou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos avaliados, ao nível de significância de 5%.

Os tratamentos “Morro abaixo” e “Covas” apresentaram os maiores valores médios de perdas de solo, considerando kg/parcela/evento de chuva. (tabela 4).

O tratamento “Sem preparo” manifestou as menores perdas de solo nesta área experimental, o tratamento “Cortando declive” apresentou médias pouco maiores que as obtidas na ausência de preparo. A tabela 4, mostra a análise de variância realizada para a área experimental de Três Barras.

TABELA 4 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA E TESTE DE TUKEY PARA AS MÉDIAS DE PERDAS DE SOLO (kg/parcela/evento) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Tratamentos	3	17,500	5,833	4,961	0,03116
Resíduo	44	9,405	1,175		
Total	47	26,905			

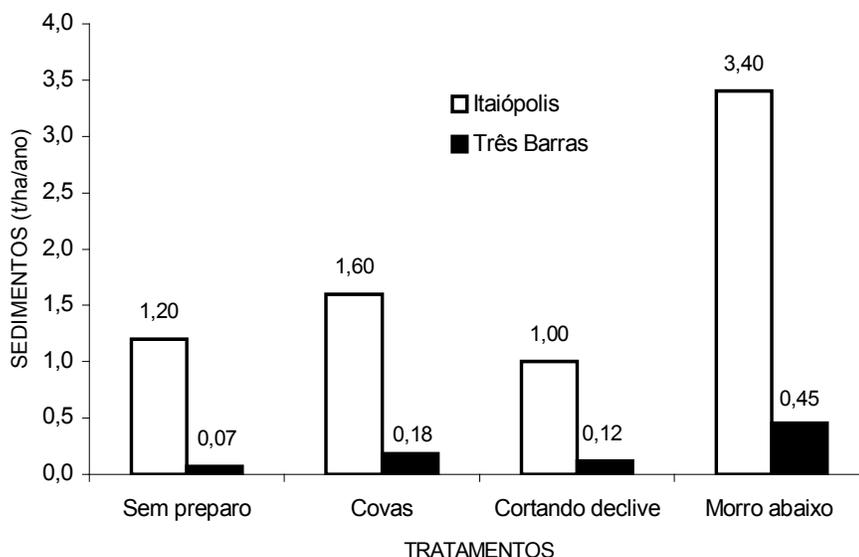
c.v. 52,50%

Tratam.	Perdas médias de solo (Kg/parcela/evento)	Tukey 5%
Morro abaixo	3,50	a
Covas	2,20	ab
Cortando declive	0,80	ab
Sem preparo	0,50	b

Nota: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey

O gráfico 18 ilustra as perdas de solo obtidas nas duas áreas experimentais considerando todas as coletas de sedimentos durante o período de monitoramento (t/ha/ano).

GRÁFICO 18 – PERDAS DE SOLO (t/ha/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS DURANTE UM ANO DE AVALIAÇÃO



Na área experimental de Itaiópolis embora o revolvimento do solo no tratamento “Morro abaixo” esteja mais concentrado na linha de plantio, a sua realização no sentido do declive considerando a maior inclinação do terreno nesta área e a remoção de boa parte do resíduo de colheita, são aspectos que influenciam fortemente as perdas de solo por erosão hídrica.

Os tratamentos “ Cortando o declive” e “Sem preparo” apresentaram perdas anuais de solo bastante semelhantes. A grande quantidade de resíduos sobre o solo no tratamento “Sem preparo” reduziu as perdas de solo por erosão hídrica. Os resíduos de colheita mantidos sobre o solo diminuem a amplitude térmica e conservam melhor a umidade do solo, ainda servem como barreira física ao livre escoamento superficial reduzindo sua velocidade e assim sua capacidade erosiva (VOLK et al., 2004).

No método de preparo de solo “Cortando declive” embora também tenha ocorrido maior revolvimento do solo localizado na linha de plantio este foi realizado em nível, reduzindo a velocidade do escoamento superficial da água da chuva. A quantidade de resíduo sobre o solo é menor que no tratamento “Sem preparo” no entanto a rugosidade superficial gerada neste método de preparo assume a função de reduzir a erosão hídrica do solo. Conforme VOLK et al. (2004) as microdepressões geradas pela rugosidade do solo em função do método de preparo adotado, são fundamentais para armazenar a água da chuva, aumentar sua infiltração, retardar a enxurrada e conseqüentemente reduzir o escoamento superficial e o processo de erosão hídrica.

No método de preparo com coveamento, as perdas de solo foram maiores que o esperado, embora estando abaixo do limite de tolerância. Neste tratamento os valores de condutividade hidráulica observados foram menores comparativamente entre os tratamentos com revolvimento, e os resultados obtidos para resistência mecânica do solo mesmo não sendo críticos mostraram acréscimos entre 50 e 100 cm da linha de tocos. A quantidade de resíduos nesta área também foi menor se comparada com o tratamento sem preparo de solo. Provavelmente a compactação moderada, observada nos dados de resistência mecânica do solo, tenha sido gerada nas operações de colheita mecanizada e no coveamento mecanizado, ou por este tratamento ocasionalmente ter recebido maior passagem de máquinas. Desta forma a infiltração de água no solo foi dificultada, e este fato, associado a menores conteúdos de resíduo sobre o solo favoreceu maior escoamento superficial e, portanto maiores perdas de solo.

As perdas de solo ao final de um ano de avaliação na área experimental de Três Barras para o tratamento “Morro abaixo” foram superiores aos demais métodos de preparo de solo, conforme o esperado (gráfico 18). O tratamento “Covas” também nesta área experimental, apresentou resultados maiores em relação ao “Cortando declive” mesmo com pouca mobilização de solo. Neste tratamento, os valores de resistência mecânica do solo se aproximaram de 4 MPa entre os 50 e 75

cm de distância a partir dos 10 cm de profundidade do solo. Embora este comportamento também tenha sido verificado para o tratamento “Sem preparo” a quantidade de resíduos sobre o solo foi maior neste último tratamento.

Uma explicação provável para esta situação é que a retroescavadeira adaptada com um coveador giratório, que faz uma cova de cada vez, force a passagem da máquina por toda área da parcela experimental, gerando maior compactação do solo e remoção do resíduo, contribuindo para um maior escoamento superficial e conseqüentemente maior perda de solo, embora pouco expressiva nesta área.

O tratamento “Cortando declive” embora com mobilização do solo mais intensa apresentou valores de perdas de solo equivalentes ao tratamento sem preparo. Isso se deve ao fato de que, as boas condições físicas principalmente da camada superficial, comprovadas com os resultados de densidade, porosidade e condutividade hidráulica além da maior rugosidade do solo gerados pelo revolvimento, favoreceram a maior infiltração de água e conseqüentemente reduziram o processo erosivo. No tratamento “Morro abaixo” embora as condições físicas de solo também sejam satisfatórias, o preparo no sentido do declive favoreceu o escoamento da água e a maior velocidade da enxurrada. Na ausência de preparo do solo, como discutido anteriormente para a área experimental de Itaiópolis a não movimentação do solo e a boa cobertura deste pelos resíduos resultaram em perdas pouco expressivas de solo.

Na área experimental de Três Barras as chuvas erosivas concentraram-se no período do verão, demonstrando os riscos de perdas de solo por erosão caso o solo se encontre descoberto nesta época do ano. A área de estudo em Itaiópolis, mesmo apresentando chuvas menos erosivas e melhor distribuídas durante o período de avaliação, apresenta textura e declividade de solo mais favorável à erosão hídrica. Desta forma nas duas áreas, é de grande relevância a adoção de métodos de preparo que favoreçam a manutenção do resíduo sobre o solo juntamente com o planejamento das operações de preparo evitando os períodos de chuvas mais intensas, principalmente em áreas de maior declividade.

4.4.3. Perdas de Água nas Duas Áreas Experimentais

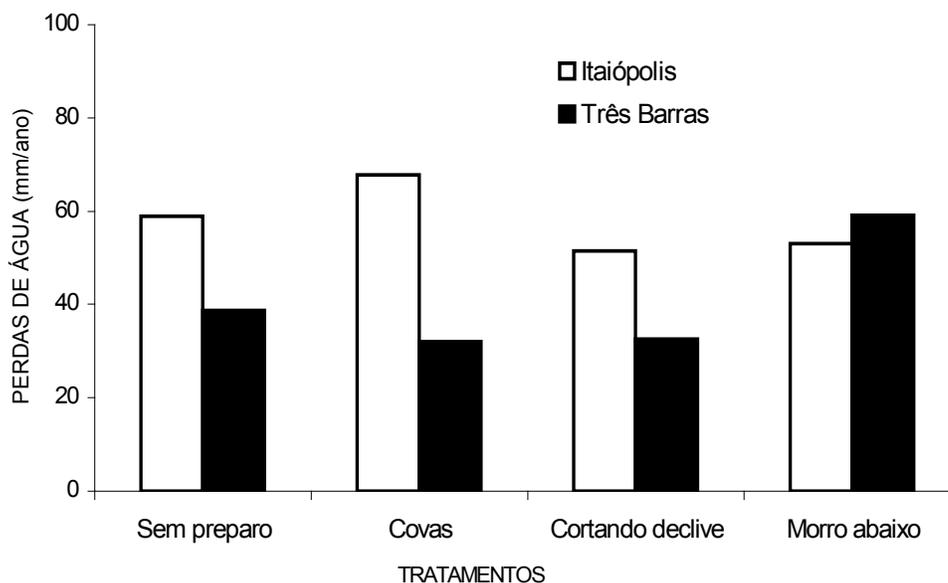
A análise da variância para as perdas de água não demonstrou diferenças estatísticas significativas entre os métodos de preparo do solo analisados na área experimental de Itaiópolis ao nível de significância de 5%.

Os tratamentos “Morro abaixo” e “Cortando declive” tendem a demonstrar menores perdas de água em comparação aos demais tratamentos. Estes resultados foram obtidos em função das boas condições físicas do solo na camada superficial nestes métodos de preparo do solo, tais como: maior porosidade total e rugosidade, em consequência do revolvimento do solo, favorecendo o aumento da infiltração de água. A somatória dos valores de água perdida obtidos no período de um ano para os tratamentos com maior mobilização do solo, entre 40 e 50 mm, concordam com os valores obtidos por BEUTLER et al. (2003) : 44,9 a 60 mm obtidos em área preparada com aração e gradagem em declividade semelhante ao da área experimental em estudo.

Nos tratamentos com menor mobilização de solo, as perdas de água foram pouco maiores provavelmente em função da menor rugosidade, a cobertura de solo com resíduos tornou a superfície mais uniforme, principalmente no tratamento “Sem preparo”. Esse aspecto vale também para o tratamento “Covas” embora as perdas de água também tenham sido influenciadas pela menor infiltração de água no solo em função de parâmetros físicos já discutidos, gerando maior escoamento superficial.

A ausência de diferenças significativas para os valores de perdas de água entre os métodos de preparo de solo avaliados é justificada por MELLO et al. (2003). O autor citando vários autores destaca que há um limite do solo em relação à capacidade de infiltração da água, a partir do qual as taxas de infiltração e de enxurrada tendem a ser semelhantes em diferentes momentos durante a chuva e em distintos sistemas de manejo do solo. O gráfico 19 apresenta os valores de água perdida no período de avaliação para Itaiópolis e Três Barras.

GRÁFICO 19 – PERDAS DE ÁGUA (mm/ano) POR MÉTODO DE PREPARO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS NO PERÍODO DE AVALIAÇÃO



O monitoramento das perdas de água nos métodos de preparo empregados na área experimental de Três Barras submetidos à análise estatística não apresentaram diferenças significativas. Os resultados da quantidade perdida de água no período de um ano de avaliação estão apresentadas no gráfico 19 que destaca o tratamento “Morro abaixo” com os maiores valores obtidos, conforme o que ocorreu com as perdas de solo neste mesmo tratamento.

Os demais métodos de preparo de solo apresentaram comportamento semelhante em relação às perdas de água. Segundo COGO et al. (2003) citando trabalhos de própria autoria entre outros autores, as perdas de água de modo geral são mais variadas e menos influenciadas pela cobertura superficial morta do que as perdas de solo, podendo ser superiores ora em cultivos reduzidos, ora nos convencionais, ou mesmo semelhantes entre diferentes métodos de preparo do solo.

4.5 ANÁLISE DO SOLO NA CAMADA ENTRE 0 – 4 cm

Alguns autores (SHICK et al., 2000; OLARIETA et al., 1999) supõem que o solo removido pela erosão seja o da camada de 0-0,025m a 0-0,030m de profundidade. Deste modo realizou-se a coleta de solo na camada superficial, até 0-0,04 m de profundidade, na instalação do experimento e no final da avaliação, analisando sua composição química e granulométrica com a finalidade de comparar o que foi removido neste período. Também foi analisada a composição química e granulométrica do sedimento erodido e então feita a comparação com o solo original nesta mesma profundidade.

4.5.1 Avaliação da Camada de Solo entre 0 – 4 cm na Área Experimental de Itaiópolis

TABELA 5 - TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SOLO NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO, POR MÉTODO DE PREPARO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

Tratamentos	Profundidade	avaliação	Ca	Mg	K	P	C
	0 a 4cm			c.molc/dm ³		mg/dm ³	g/dm ³
Cortando declive		2003	1,40 a	0,51 a	0,24 a	8,58 a	46,00 a
		2004	1,20 a	0,43 a	0,14 a	7,00 a	37,50 a
		c.v. %	10,95	7,67	36,39	42,07	28,81
Morro Abaixo		2003	1,33 a	0,57 a	0,42 a	12,43 a	43,76 a
		2004	1,14 a	0,32 b	0,21 b	9,70 a	29,00 b
		c.v. %	21,48	22,98	20,91	22,26	20,12
Sem preparo		2003	1,18 a	0,51 a	0,21 a	15,93 a	39,73 a
		2004	0,93 a	0,45 a	0,21 a	8,36 a	29,00 a
		c.v. %	19,38	8,02	17,16	43,66	26,75
Covas		2003	1,33 a	0,60 a	0,20 a	12,23 a	48,83 a
		2004	1,16 a	0,50 a	0,16 a	16,00 a	34,10 a
		c.v. %	25,87	16,41	33,69	25,95	16,27

Nota: - Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

- cmol_c/dm³ = centímol carga por decímetro cúbico de solo.

Os valores obtidos inicialmente entre os tratamentos analisados mostraram comportamento pouco distinto em função da homogeneidade da área. A tendência para todos os métodos de preparo de solo empregados foi apresentar reduções nos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e carbono. No tratamento “Cortando declive”, “Covas” e “Sem preparo” as diferenças entre a etapa inicial e final de avaliação do experimento não foram significativas. No entanto foram obtidas diferenças estatísticas significativas para o tratamento “Morro abaixo” para os teores de magnésio, potássio e carbono. A análise da variância para estes elementos encontra-se no anexo 6.

Os teores de cálcio, magnésio e fósforo nesta camada de solo são equivalentes aos obtidos por FALLEIRO et al. (2003) em estudo analisando a fertilidade do solo sob diferentes métodos de manejo, em solo com textura similar a da área experimental de Itaiópolis. Já para o potássio nesta área experimental, os valores obtidos foram bem menores, principalmente na área não preparada. Para o carbono, no tratamento “Morro abaixo” a remoção dos resíduos pelo preparo no sentido do declive pode ter favorecido a redução da matéria orgânica resultando em menores conteúdos para este elemento.

A análise da composição granulométrica do solo na camada entre 0 – 4 cm apresentou teores de argila menores na segunda amostragem em todos os tratamentos, com diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% para o tratamento “Morro abaixo”(anexo 7). Os dados obtidos estão apresentados na tabela 6.

TABELA 6 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO POR MÉTODO DE PREPARO, NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

Tratamentos	Profundidade	avaliação	areia grossa	areia fina	silte	argila
	0 - 4 cm		-----	-----g/kg-----	-----	-----
Cortando declive		2003	50,00 a	270,00 a	256,66 a	430,00 a
		2004	70,00 a	273,55 a	233,33 a	423,33 a
	c.v. %		11,42	1,75	8,98	4,99
Morro Abaixo		2003	73,66 a	346,66 a	75,00 a	500,00 a
		2004	100,0 a	383,00 a	150,00 a	373,00 b
	c.v. %		22,45	18,54	44,47	10,41
Sem preparo		2003	83,66 a	350,00 a	69,33 a	497,33 a
		2004	86,66 a	370,00 a	83,33 a	466,66 a
	c.v. %		32,36	5,24	14,31	6,37
Covas		2003	59,49 a	278,59 a	105,16 a	556,66 a
		2004	73,33 a	276,59 a	150,00 a	506,66 a
	c.v. %		24,63	2,56	60,7	8,16

Os conteúdos de argila observados de modo geral nesta área são menores em comparação com os da área de Três Barras que apresenta textura muito argilosa. No entanto a redução da argila observada na segunda amostragem principalmente no tratamento “Morro abaixo” (tabela 06) é um aspecto importante uma vez que, conforme CONSTANTINI e LOCH (2002) e OLARIETA et al. (1999) a perda de nutrientes é altamente correlacionada com a quantidade dos componentes mais finos do sedimento erodido. A análise da variância para os conteúdos de argila no tratamento “Morro abaixo” para esta localidade encontra-se no anexo 8.

4.5.2 Avaliação da Camada de Solo entre 0 – 4 cm na Área Experimental de Três Barras

Na análise da camada entre 0 – 4 cm na área experimental de Três Barras a tendência entre os métodos de preparo de solo foi apresentar reduções dos teores de

nutrientes na segunda amostragem, da mesma forma que em Itaiópolis. Os valores obtidos estão relacionados na tabela 7.

TABELA 7 - TEORES DE MACRONUTRIENTES NO SOLO NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO POR MÉTODO DE PREPARO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

Tratamentos	Profundidade	avaliação	Ca	Mg	K	P	C
	0 a 4 cm		-----	c.mol _c /dm ³	-----	mg/dm ³	g/dm ³
Cortando declive		2002	1,08 a	0,52 a	0,273 a	2,75 a	43,23 a
		2003	0,92 a	0,42 a	0,153 a	1,74 a	36,66 a
		c.v. %	7,6	14,94	53,31	44,72	32,44
Morro abaixo		2002	0,72 a	0,34 a	0,23 a	3,13 a	54,33 a
		2003	0,65 a	0,25 b	0,19 a	2,73 a	34,93 b
		c.v. %	18,92	6,93	16,13	31,67	14,85
Sem preparo		2002	0,666 a	0,330 a	0,246 a	2,53 a	36,13 b
		2003	0,826 a	0,326 a	0,236 a	4,53 a	61,66 a
		c.v. %	11,77	18,69	27,55	28,17	19,48
Covas		2002	1,10 a	0,49 a	0,22 a	2,33 a	47,66 a
		2003	0,91 a	0,31 b	0,18 a	2,69 a	40,00 a
		c.v. %	31,99	14,06	35	18,12	36,26

Nota: Médias seguidas por letras distintas nas mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

O tratamento “Morro abaixo” apresentou diferenças estatisticamente significativas nos teores avaliados para magnésio e carbono menores na segunda amostragem, ao nível de significância de 5%. A análise da variância para estes elementos encontra-se no anexo 9. O tratamento “Covas” também apresentou redução significativa nos teores de magnésio (anexo 11). Conforme OLARIETA et al. (1999) em observações feitas imediatamente depois do preparo do solo, a perda de elementos trocáveis e matéria orgânica ocorre principalmente onde há maior raspagem da camada superficial do solo, favorecendo a perda dos nutrientes pela erosão hídrica. No tratamento “Sem preparo” diferindo dos demais houve aumento dos teores de fósforo e carbono, com diferenças estatísticas para este último elemento (anexo 10). A ausência de movimentação do solo pode ter contribuído para

a manutenção dos teores dos elementos analisados e a maior quantidade de resíduo pode ter elevado os conteúdos de carbono no período analisado. Na tabela 8 estão relacionados os resultados de granulometria para a área de Três Barras nas duas amostragens.

TABELA 8 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO SOLO POR MÉTODO DE PREPARO, NA FASE DE INSTALAÇÃO E APÓS UM ANO DE AVALIAÇÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

Tratamentos	Profundidade	avaliação	areia grossa	areia fina	silte	argila
	0 a 4 cm		----- g/kg -----			
Cortando declive		2003	15,66 a	35,33 a	201,00 a	750,00 a
		2004	20,00 a	40,01 a	230,00 a	710,00 a
	c.v %		46,29	38,00	10,99	3,04
Morro Abaixo		2003	21,00 a	37,06 a	178,66 a	763,33 a
		2004	20,00 a	40,04 a	226,66 a	710,00 a
	c.v %		10,77	4,81	29,22	7,09
Sem preparo		2003	18,00 a	39,33 a	288,88 a	653,33 a
		2004	20,00 a	50,00 a	270,00 a	660,00 a
	c.v %		38,63	29,45	42,12	16,27
Covas		2003	20,50 a	48,55 a	201,00 a	730,00 a
		2004	20,00 a	63,33 a	206,66 a	703,33 a
	c.v %		36,58	20,29	34,69	8,84

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Na avaliação da composição granulométrica desta área experimental não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Os teores de silte, areia fina e grossa sofreram pouca alteração quando comparados aos valores encontrados no início da avaliação, embora em relação aos conteúdos de argila a tendência geral foi a redução dos valores obtidos inicialmente.

4.6 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS SEDIMENTOS E NA ÁGUA

4.6.1 Área Experimental de Itaiópolis

A análise da composição química do sedimento amostrado quinzenalmente submetido a análise estatística, mostrou diferenças significativas entre os métodos de preparo de solo analisados nesta localidade, o que não aconteceu para o solo de origem. Portanto as diferenças encontradas nos sedimentos estão relacionadas com a mecânica da erosão que foi diferenciada para cada tratamento. Os dados estão apresentados nas tabelas 9 e 10.

TABELA 9 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

SOLO DE ORIGEM						
Tratamentos	Ca	Mg	K	P	C	V
	-----c.mol/dm ³ -----			mg/dm ³	g/dm ³	%
Cortando						
Declive	1,40 a	0,51 a	0,24 a	8,58 a	46,00 a	21,70 a
Morro Abaixo	1,33 a	0,57 a	0,42 a	12,00 a	43,70 a	18,00 a
Sem preparo	1,18 a	0,51 a	0,21 a	15,90 a	39,70 a	18,60 a
Covas	1,33 a	0,60 a	0,20 a	12,20 a	48,83 a	21,20 a
C.V. (%)	51,60	35,34	46,22	32,22	35,63	31,21
SEDIMENTOS						
Tratamentos	Ca	Mg	K	P	C	V
	-----c.mol/dm ³ -----			mg/dm ³	g/dm ³	%
Cortando						
Declive	2,01 b	0,83 a	0,15 c	2,86 c	25,60 b	30,00 a
Morro Abaixo	3,11 a	0,90 a	0,35 a	9,84 a	32,90 a	29,04 a
Sem preparo	1,60 b	0,68 a	0,21 b	4,35 b	23,90 b	25,20 a
Covas	1,91 b	0,80 a	0,26 b	5,59 b	27,50 ab	28,70 a
C.V. (%)	42,93	39,31	27,07	21,46	20,30	39,04

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

TABELA 10 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

SOLO DE ORIGEM				
Tratamentos	areia grossa	areia fina	Silte	Argila
-----g/kg-----				
Cortando Declive	50,0 a	270,0 a	256,6 a	430,3 a
Morro Abaixo	78,8 a	346,6 a	75,0 a	500,0 a
Sem preparo	83,6 a	350,0 a	69,3 a	497,3 a
Covas	59,4 a	278,6 a	105,0 a	556,6 a
C.V. (%)	23,80	13,31	41,91	11,76
SEDIMENTOS				
Tratamentos	areia grossa	areia fina	Silte	Argila
-----g/kg-----				
Cortando Declive	106,0 a	269,0 a	373,0 a	255,0 a
Morro Abaixo	90,8 a	241,0 a	385,0 a	331,0 a
Sem preparo	110,0 a	322,0 a	325,0 a	281,0 a
Covas	88,0 a	296,0 a	357,0 a	297,0 a
C.V. (%)	57,87	26,60	33,58	67,01

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

A análise da variância para composição química dos sedimentos com diferenças significativas encontra-se no anexo 12.

Os teores de cálcio e magnésio estão ligados ao nível de acidez do solo, sendo que quando estão baixos o solo apresentará maior excesso de acidez e baixa saturação por bases (V%). Na amostragem do solo original nesta área os valores obtidos em todos os tratamentos são considerados baixos para o Cálcio e médios para o magnésio, de acordo com a classificação do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) abordada por TOMÉ JR (1997). Os teores de cálcio obtidos nos sedimentos mostram valores enquadrados como médios no método de preparo Morro abaixo. Conforme HERNANI et al. (1999) em áreas agrícolas maiores perdas de cálcio e magnésio foram verificadas em sistemas de preparo convencionais sem cobertura vegetal e as menores em plantio direto. Comportamento semelhante é verificado nesta área experimental, sendo que os tratamentos com maior mobilização de solo também apresentaram maiores concentrações deste elemento,

embora os valores médios obtidos pelos autores citados sejam maiores por se tratar de área agrícola com correção do solo. Para o magnésio as diferenças entre os resultados obtidos não diferiram estatisticamente, no entanto o tratamento “Morro abaixo” manifestou as maiores concentrações deste nutriente.

Na análise do potássio presente nos sedimentos os resultados obtidos diferiram entre os métodos de preparo empregados. TOMÉ JR (1997) classifica como médios os valores entre 0,11 a 0,30 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. No solo original os valores oscilam entre estes resultados sendo um pouco superiores à 0,30 para o “Morro abaixo”.

Nos sedimentos os maiores teores de potássio também estão relacionados ao tratamento “Morro abaixo”(Tabela 9). Normalmente as perdas de potássio em solução (na água da enxurrada) são maiores que as encontradas no sedimento, em função da maior solubilidade deste elemento (HERNANI et al., 1999). Os teores de potássio no solo variam em função de sua textura. A textura e a CTC dos solos estão intimamente relacionadas, sendo que os solos com menores teores de argila apresentam normalmente menor CTC e menores níveis de potássio trocável adequado às plantas. (TOMÉ JR, 1997). Os tratamentos com menor revolvimento “Sem preparo” e “Covas” apresentaram maiores teores de potássio no sedimento em relação ao “Cortando declive”, correspondendo a maior quantidade deste elemento transportado pela água nestes tratamentos.

Os valores de fósforo presentes no sedimento também diferiram estatisticamente entre os tratamentos avaliados (Tabela 9). Para as espécies florestais TOMÉ JR (1997) classifica como valores baixos de fósforo os encontrados entre 3 a 5 mg/dm^3 . Os resultados obtidos no solo original destes tratamentos estão muito acima destes valores, enquadrando-se como altos. Em Itaiópolis, teores mais elevados de fósforo provavelmente estão relacionados aos restos de resíduos queimados (cinzas) que ainda permaneciam na época da instalação do experimento.

SOTO et al. (1995) destacam que o uso do fogo gera aumento nas formas disponíveis dos nutrientes como cálcio, magnésio, potássio e fósforo diretamente

associado à mineralização da matéria orgânica. Aumentos nos conteúdos de fósforo são atribuídos provavelmente à redução do conteúdo de alumínio trocável e aumento de pH, ambos favorecendo à menor complexação do fósforo. Contudo o aumento da fertilidade é inicial pois a longo prazo os níveis de fertilidade voltam aos níveis iniciais principalmente para o fósforo e o potássio. No sedimento os valores de fósforo obtidos para o tratamento “Morro abaixo” foram bastante superiores aos demais tratamentos. A quantidade de nutrientes encontrada no solo erodido deste tratamento é correspondente ao volume de solo perdido em cada tratamento sendo maiores no “Morro abaixo”. A concentração deste elemento no tratamento “Sem preparo” e “Covas” foram pouco superiores ao “Cortando declive”. O fósforo costuma apresentar altas taxas de enriquecimento dos sedimentos removidos pela erosão apresentando valores superiores ao sedimento em relação à camada entre 0 – 0,030 m. Este fato se justifica segundo SCHICK et al. (2000) devido este elemento estar adsorvido aos colóides do solo e ao maior transporte das frações de argila e silte implicando em maiores perdas deste nutriente. Considerando a soma dos teores de silte e argila para esta área experimental (tabela 10) obtidos em cada método de preparo do solo, percebe-se que os valores encontrados no tratamento “Morro abaixo” são superiores aos demais tratamentos, justificando os maiores conteúdos de fósforo e demais nutrientes na análise do sedimento erodido.

Os teores de Carbono (Tabela 9) nos sedimentos foram mais elevados que os observados no solo original, destacando-se no preparo morro abaixo. Este comportamento se deve ao fato da matéria orgânica ser o primeiro constituinte a ser removido pela erosão considerando sua alta concentração na superfície do solo e principalmente sua baixa densidade (SCHICK et al. 2000).

4.6.2 Área Experimental de Três Barras

As análises realizadas nesta localidade não manifestaram diferenças estatísticas significativas entre os teores dos elementos analisados presentes nos sedimentos e nem entre sua composição granulométrica ao nível de significância de 5%. Os dados obtidos estão relacionados nas tabelas 11 e 12.

TABELA 11 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

SOLO DE ORIGEM						
Tratamentos	Ca	Mg	K	P	C	V
	-----c.mol _e /dm ³ -----			mg/dm ³	g/dm ³	%
Cortando declive	1,08 a	0,52 a	0,27 a	2,70 a	43,23 a	8,69 a
Morro abaixo	0,72 a	0,34 a	0,23 a	3,13 a	54,33 a	14,4 a
Sem preparo	0,66 a	0,33 a	0,24 a	2,53 a	36,13 a	8,98 a
Covas	1,10 a	0,49 a	0,22 a	2,33 a	47,66 a	17,7 a
C.V. (%)	35,18	20,84	30,78	41,78	18,03	22,38
SEDIMENTOS						
Tratamentos	Ca	Mg	K	P	C	V
	-----c.mol ₃ /dm ³ -----			mg/dm ³	g/dm ³	%
Cortando declive	0,42 a	0,20 a	0,15 a	1,50 a	35,7 a	19,70 a
Morro abaixo	1,30 a	0,43 a	0,16 a	1,20 a	30,8 a	24,26 a
Sem preparo	0,40 a	0,20 a	0,11 a	1,50 a	35,5 a	15,00 a
Covas	1,29 a	0,44 a	0,14 a	1,20 a	37,7 a	15,00 a
C.V. (%)	9,56	14,73	17,24	19,09	11,58	15,00

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Os valores obtidos para o cálcio e magnésio no solo original nesta localidade são considerados baixos de acordo com TOMÉ JR (1997). No sedimento de forma geral, as concentrações destes elementos também são consideradas baixas. Embora sem diferenças estatísticas o método de preparo “Morro abaixo” e “Covas” apresentaram resultados mais elevados proporcionalmente às maiores perdas de solo nestes tratamentos. O potássio apresentou teores menores no sedimento em relação ao solo de origem, os conteúdos deste nutriente nos sedimentos manifestou comportamento semelhante para todos os tratamentos analisados.

Na análise feita para o fósforo, foram verificados menores teores no solo original em relação à área experimental de Itaiópolis. Apesar da textura do sedimento transportado pela erosão apresentar altos conteúdos de argila e silte e considerando estas frações granulométricas como ricas em nutrientes adsorvidos (SCHICK et al., 2000) os teores deste elemento no sedimento foram menores também em função do menor volume de sedimento coletado nesta área. Os resultados para o carbono foram altos em todos os métodos de preparo de solo, fato esperado considerando a alta concentração de resíduos na superfície do solo, nesta área experimental.

Na avaliação da composição granulométrica do sedimento este apresentou constituição muito semelhante à do solo original, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos. Os elevados teores de argila e silte no sedimento são proporcionais aos altos conteúdos no solo original (tabela 12).

TABELA 12 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

SOLO DE ORIGEM				
Tratamentos	areia grossa	areia fina	silte	argila
-----g/kg-----				
Cortando declive	15,6 a	35,3 a	201,0 a	750,0 a
Morro abaixo	21,0 a	37,0 a	178,0 a	763,0 a
Sem preparo	18,0 a	39,3 a	288,8 a	653,0 a
Covas	20,5 a	48,5 a	201,0 a	730,0 a
C.V. (%)	5,00	4,20	25,00	32,00
SEDIMENTOS				
Tratamentos	areia grossa	areia fina	silte	argila
-----g/kg-----				
Cortando declive	15,0 a	40,0 a	285,0 a	660 a
Morro abaixo	20,0 a	40,0 a	185,0 a	760 a
Sem preparo	15,0 a	50,0 a	170,0 a	760 a
Covas	15,0 a	40,0 a	295,0 a	650 a
C.V. (%)	33,33	8,08	51,58	17,71

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Analisando as concentrações de nutrientes nos sedimentos nas duas áreas experimentais, percebe-se que a área de Itaiópolis tende a apresentar valores mais elevados em quase todos os nutrientes analisados, em relação ao solo original, sobretudo no tratamento “Morro abaixo”. Na área experimental de Três Barras, os resultados obtidos no sedimento para os nutrientes são mais próximos comparativamente ao solo de origem, o mesmo ocorrendo na avaliação da composição granulométrica.

De acordo com FRERE et al. (1980) o enriquecimento do sedimento com nutrientes pode ocorrer pelo processo seletivo de deposição, estando relacionado ao aumento de partículas mais finas, como argila e silte e à concentração destas partículas (MONKE et al., 1976). Conforme YOUNG (1980) quanto maior o volume de enxurrada, mais aproximada é a distribuição de tamanho de partículas do sedimento e do solo de origem. As menores chuvas podem ser responsáveis pelos maiores teores de silte e argila. Os sedimentos são química e granulométricamente mais diferenciados em relação ao solo original, quanto menores as perdas de solo e com chuvas menos intensas, pois estas transportam as partículas mais leves (silte e argila) fazendo com que o sedimento apresente maior quantidade deste material em relação ao solo original. Deste modo, as chuvas menos intensas são responsáveis pelo enriquecimento do sedimento em relação ao solo original.

Na área experimental de Itaiópolis as chuvas mais frequentes e menos erosivas contribuíram para um maior enriquecimento do sedimento e maiores perdas de nutrientes. Em Três Barras, a composição química e granulométrica com resultados mais próximos entre sedimentos e solo original refletem os eventos de chuva ocorridos com menor frequência, porém com maior erosividade.

4.6.3 Comparação das Perdas de Nutrientes nas Duas Áreas Experimentais

Os resultados das perdas de nutrientes em kg/ha/ano entre as duas áreas permite uma visualização mais fácil das diferenças entre as perdas observadas durante o período de avaliação. A tabela 13 apresenta os dados de perdas de nutrientes para as duas áreas avaliadas.

TABELA 13 – PERDAS DE NUTRIENTES ASSOCIADAS AO SEDIMENTO EM kg/ha/ano NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

TRATAMENTOS	LOCAL	Ca	Mg	K	P	C
ITAIÓPOLIS		-----kg/ha/ano				
Cortando declive		0,498	0,123	0,036	0,0018	15,870
Morro abaixo		1,940	0,336	0,212	0,0154	51,320
Sem preparo		0,371	0,094	0,050	0,0025	13,860
Covas		0,794	0,200	0,105	0,0058	28,600
TRATAMENTOS	LOCAL	Ca	Mg	K	P	C
TRÊS BARRAS		-----				
--		----- kg/ha/ano				
Cortando declive		0,008	0,002	0,002	0,00007	1,720
Morro abaixo		0,109	0,021	0,013	0,00025	6,500
Sem preparo		0,005	0,001	0,001	0,00004	0,990
Covas		0,070	0,040	0,007	0,00016	5,000

Na área experimental de Itaiópolis as perdas de nutrientes de modo geral apresentaram valores superiores aos obtidos em Três Barras.

As perdas de nutrientes encontradas em Itaiópolis são inferiores às obtidas por HERNANI et al. (1999) na avaliação dos elementos: cálcio, magnésio e potássio em áreas agrícolas. Este fato é justificado considerando que estas áreas são submetidas à correção e adubação do solo. Os valores obtidos para o Carbono são menores que os obtidos por este autor, no entanto para o tratamento “Morro abaixo” foram superiores em relação aos demais tratamentos.

Os valores obtidos para o fósforo foram mais elevados, no tratamento “Morro abaixo”. Este é um aspecto preocupante, conforme NUÑEZ et al. (2003), o preparo

do solo feito morro abaixo e sem utilização de práticas conservacionistas provoca a perda excessiva de solo e nutrientes especialmente para o fósforo que se acumula nos sedimentos podendo provocar a eutrofização das águas através do crescimento de algas. Nesta área a maior declividade do solo e menor cobertura por resíduos favoreceu perdas de solo mais elevadas e proporcionalmente maiores quantidades de nutrientes perdidos.

Em Três Barras as perdas de nutrientes estão abaixo das obtidas no estudo de HERNANI et al. (1999), em todos os elementos observados, apresentando resultados menores que os obtidos em Itaiópolis considerando que as perdas totais nesta área foram pouco expressivas principalmente para os tratamentos “Cortando declive” e “Sem preparo”.

As perdas de nutrientes observadas nestas áreas são no geral menores que os resultados obtidos para áreas agrícolas, onde normalmente são efetuadas calagens e adubações. No entanto, considerando que nas áreas de estudo deste trabalho não foram realizadas adubações para o plantio de Pinus, percebe-se também a importância do manejo adequado do solo uma vez que o preparo impróprio favorece seu empobrecimento pelas perdas de nutrientes transportados no processo de erosão hídrica.

A adoção de métodos de preparo que proporcionem menores perdas de solo e nutrientes são recomendadas a fim de evitar o empobrecimento do solo e reduzir os riscos de contaminação de mananciais hídricos. HERNANI et al. (1987) citando vários autores destaca que a perda de matéria orgânica por erosão, por exemplo, tem grande importância nos processos de eutrofização de mananciais, na medida em que a biodegradação de compostos orgânicos em rios e lagos eleva a demanda bioquímica de oxigênio colocando em perigo a vida aquática.

4.6.4 Concentração de Nutrientes na Água

4.6.4.1 Área experimental de Itaiópolis

A análise da água da enxurrada coletada quinzenalmente durante o período de avaliação do experimento em Itaiópolis, apresentou diferenças estatísticas significativas entre os resultados obtidos, para fósforo e potássio, ao nível de significância de 5% (tabela 14). A análise da variância realizada para estes elementos encontra-se no anexo 13.

As concentrações médias de cálcio e magnésio na água (tabela 14) manifestaram valores baixos conforme o observado também no solo de origem e nos sedimentos para esta área de estudo. De modo geral, estes elementos são perdidos em maiores quantidades no sedimento da erosão do que na água, principalmente quando em razão da utilização de calcário (SCHICK et al., 2000).

As concentrações médias de fósforo na água da enxurrada também apresentaram valores baixos embora os teores deste elemento no solo original sejam elevados em todos os tratamentos. Como já discutido anteriormente, este fato pode ser explicado pelo fato deste elemento encontrar-se adsorvido aos colóides apresentando maior concentração no sedimento que em suspensão. Os tratamentos com maior mobilização de solo apresentaram maiores perdas de fósforo, concordando com o estudo desenvolvido por HERNANI et al. (1999) onde métodos de preparo de solo mais intensivos manifestaram maiores perdas que as observadas em plantio direto.

O tratamento “Morro abaixo” apresentou maiores concentrações de fósforo na água analisada. De acordo com a Resolução do CONAMA, BRASIL (2005) para os padrões de qualidade de águas doces, os teores de fósforo total na água não devem ultrapassar 0,020 mg/L. Este tratamento apresentou valores superiores ao determinado pelo CONAMA, fato preocupante considerando que, embora o fósforo solúvel na água represente uma pequena fração do fósforo total perdido por erosão hídrica, este é um aspecto importante a se considerar uma vez que, a forma solúvel desse elemento é

mais biodisponível do que a ligada aos sedimentos podendo causar impacto imediato nos locais de deposição, fora do local de origem da erosão (BERTOL et al., 2004).

O tratamento “Covas” também apresentou valores um pouco acima do que estabelecem os padrões de qualidade de água determinados pelo CONAMA. Este tratamento foi o que apresentou o maior volume de água perdido no período de avaliação, nesta localidade.

O potássio apresentou maiores concentrações na água da enxurrada em todos os métodos de preparo empregados, principalmente no “Morro abaixo”, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os maiores teores de potássio na água ocorrem em razão da maior solubilidade deste elemento, em relação ao fósforo o que facilita seu transporte pela água (SCHICK et al., 2000). Conforme dados da CETESB (2005) concentrações de potássio em águas naturais são usualmente menores que 10 mg/L, concentrações maiores também podem ser provenientes da utilização de sais de potássio usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces por descargas industriais e lixiviação das terras agrícolas.

4.6.4.2 Área experimental de Três Barras

A análise da água da enxurrada na área experimental de Três Barras, não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os resultados obtidos, para nenhum dos elementos avaliados, ao nível de significância de 5% (tabela 14).

As quantidades de nutrientes encontradas na água para o cálcio e magnésio em Três Barras são pequenas. As perdas destes elementos estão mais relacionadas com os sedimentos, de forma que na água os valores são mais baixos. No entanto, a observação de conteúdos perdidos destes nutrientes mesmo sendo considerados baixos, são preocupantes principalmente nos tratamentos com maiores perdas de solo, uma vez que estes elementos já não se encontram em níveis satisfatórios no solo e a retirada pelo processo erosivo tende a favorecer a acidificação do mesmo.

As perdas de potássio na água da enxurrada foram as maiores também nesta área experimental, em função da maior solubilidade deste elemento, enquanto que o fósforo, manifestou resultados muito baixos, uma vez que as perdas deste elemento associam-se com a quantidade de sedimento erodido.

A tabela 14 ilustra as perdas de nutrientes na água para o cálcio e magnésio e demais elementos analisados.

TABELA 14 – CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES (mg/L) NA ÁGUA DA ENXURRADA POR TRATAMENTO, NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

TRATAMENTOS	local	Ca	Mg	K	P
ITAIÓPOLIS	mg/l.....			
Cortando declive		0,681 a	0,625 a	2,78 b	0,020 b
Morro abaixo		0,765 a	0,595 a	3,53 a	0,029 a
Sem preparo		0,644 a	0,576 a	2,72 b	0,016 c
Covas		0,647 a	0,567 a	2,74 b	0,022 b
cv %		16,78	16,57	17,85	19,10
TRATAMENTOS	local	Ca	Mg	K	P
TRÊS BARRAS	mg/l.....			
Cortando declive		0,728 a	0,411 a	0,966 a	0,016 a
Morro abaixo		0,803 a	0,600 a	1,388 a	0,013 a
Sem preparo		0,808 a	0,478 a	1,110 a	0,015 a
Covas		0,710 a	0,521 a	1,321 a	0,009 a
cv %		22,14	48,32	33,49	45,19

Nota: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

4.7 AVALIAÇÃO DOS TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E ALTURA APÓS UM ANO DE PLANTIO

Os resultados obtidos na análise foliar e a avaliação da altura das plantas com idade de um ano, não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos nas duas áreas experimentais ao nível de 5% de significância. A tabela 15 apresenta os resultados para as duas localidades.

TABELA 15 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS E ALTURA DAS PLANTAS NAS DUAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

		N	P	K	Ca	Mg	Altura
TRATAMENTOS		-----g/kg-----					(m)
ITAIÓPOLIS	Cortando declive	20,3 a	1,40 a	6,85 a	2,88 a	0,75 a	1,72 a
	Morro abaixo	20,4 a	1,32 a	5,22 a	3,95 a	0,65 a	1,72 a
	Sem preparo	19,9 a	1,82 a	7,22 a	4,61 a	0,46 a	1,88 a
	Covas	21,3 a	1,32 a	6,27 a	4,47 a	0,54 a	1,87 a
	C.V. %	12,60	27,30	15,70	15,30	14,90	10,70
TRATAMENTOS							
TRÊS BARRAS	Cortando declive	23,9 a	0,82 a	5,90 a	6,57 a	0,70 a	1,15 a
	Morro abaixo	23,0 a	0,72 a	4,85 a	5,20 a	0,65 a	1,17 a
	Sem preparo	23,4 a	0,85 a	5,05 a	5,05 a	0,67 a	1,09 a
	Covas	23,0 a	0,75 a	6,02 a	6,90 a	0,74 a	1,03 a
	C.V. %	6,12	24,70	3,80	15,00	16,50	10,70

Nota: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey dentro de cada localidade

Os valores de nitrogênio não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados nas duas áreas experimentais. Segundo VOGEL et al. (2005) solos com maiores teores de matéria orgânica apresentam alta disponibilidade natural desse elemento.

O solo de origem em Itaiópolis apresentou maiores teores de cálcio e magnésio do que em Três Barras. Na análise foliar percebe-se conteúdos de magnésio absorvidos equivalentes entre as duas áreas e valores mais reduzidos para o cálcio em Itaiópolis. De acordo com REISSMANN (2003) as exigências em cálcio

são relativamente baixas por parte do *Pinus taeda*, sendo uma característica ecológica de espécies adaptadas a solos ácidos, que não apresentem problemas com elevados teores de alumínio. O mesmo autor observando a relação entre a altura e teor médio de nutrientes em *Pinus taeda*, obteve valores de magnésio nas acículas entre 0,6 e 0,8 g/kg associados com as maiores alturas de plantas.

Os valores obtidos estão de acordo com estas informações, sendo um pouco menores nos tratamentos “Covas” e “Sem preparo” em Itaiópolis mesmo apresentando valores maiores no solo original. Segundo GATTO et al. (2003) tratamentos de preparo de solo mais intensivos podem favorecer maior absorção de nutrientes pelas plantas.

Os resultados obtidos por REISSMANN et al. (1990) para os conteúdos de potássio nas acículas relaciona valores entre 3,0 e 4,0 g/kg com as menores alturas nos povoamentos de Pinus. O tratamento “Morro abaixo” manifestou os menores valores médios na análise das acículas, fato que concorda com a maior perda deste elemento no sedimento erodido e na água da enxurrada. Os teores de potássio apresentaram concentrações médias mais elevadas nas plantas em todos os tratamentos para Itaiópolis comparativamente a Três Barras, da mesma forma que os valores presentes no solo original.

Em relação ao Fósforo, nos tratamentos “Morro abaixo” e “Covas” foram obtidas as menores concentrações deste elemento nas plantas, no entanto sem diferenças estatísticas significativas. Em Três Barras os valores em todos os tratamentos são baixos, a textura muito argilosa desta área pode ter contribuído para a menor disponibilidade deste nutriente para as plantas. BELLOTE e SILVA (2000) encontraram resultados que indicam que o crescimento das árvores é dependente dos teores de fósforo no solo mesmo obtendo baixa correlação entre fósforo nas folhas e crescimento de plantas. VOGEL et al. (2002) avaliando o crescimento inicial de *Pinus taeda* relacionado a doses de N, P, K encontrou respostas que evidenciam a importância do fósforo, juntamente com o potássio no desenvolvimento inicial das mudas com ganho em volume cilíndrico.

A avaliação da altura sem diferenças significativas, apresentou maior tendência de crescimento das plantas em Itaiópolis e nos tratamentos sem preparo intensivo de solo. Em Três Barras as mudas plantadas na mesma época e submetidas aos mesmos tratos culturais manifestaram alturas menores em todos os tratamentos com crescimento pouco mais elevado nos tratamentos com mobilização de solo.

SANTOS FILHO e ROCHA (1987) citando vários autores confirmam que as características físicas do solo prevalecem sobre as químicas na avaliação da qualidade dos sítios florestais e que especificamente para o *Pinus taeda* as características físicas de solo são o melhor critério para a avaliação do crescimento em altura. REISSMANN (2003) destaca que os solos profundos de textura média à argilosa, com fornecimento contínuo de água manifestam geralmente os melhores crescimentos. Desta forma, o maior crescimento das plantas na área experimental de Itaiópolis nos tratamentos com menos revolvimento provavelmente deve estar relacionado à manutenção da umidade favorecida pelo resíduo. Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos para os conteúdos de água disponível, no entanto a maior quantidade de resíduo nestes tratamentos contribui para menor evaporação, e armazenamento de água no solo em uma área que apresenta solo com textura menos argilosa e declividade mais acentuada, fatores que favorecem menor retenção de umidade.

Em Três Barras, a avaliação da maioria das características físicas são consideradas adequadas, no entanto para a resistência mecânica do solo à penetração foram encontrados acréscimos considerados críticos que mostram a compactação do solo. Embora em relação ao processo de erosão hídrica, as perdas de solo e nutrientes tenham sido menores em relação á Itaiópolis, o crescimento pode ter sido afetado pela compactação do solo, considerando que a tendência do crescimento das plantas é aumentar nos tratamentos com maior revolvimento de solo.

5 CONCLUSÕES

- As perdas de solo, água e nutrientes no geral foram menores em todos os métodos de preparo avaliados no solo de textura mais argilosa (Três Barras) e menor declive, comparativamente à área experimental de textura argilosa e maior declive (Itaiópolis);
- Nas duas áreas o método de preparo do solo “Morro abaixo” foi o que manifestou as maiores perdas de solo;
- As perdas de água em ambas as áreas mostraram-se menos influenciadas pelo método de preparo que as perdas de solo. Os resultados obtidos não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos em nenhuma das áreas experimentais;
- As concentrações de fósforo e potássio na água foram significativas estatisticamente na área experimental de Itaiópolis, sendo que o tratamento “Morro abaixo” apresentou teores de fósforo solúvel superiores aos valores de fósforo total estabelecidos nos padrões de qualidade do CONAMA. Aspecto preocupante sendo que a forma solúvel desse elemento é mais biodisponível do que a ligada aos sedimentos podendo causar impacto imediato nos locais de deposição. Também o potássio, foi o elemento encontrado em maior concentração neste tratamento. Para a área de Três Barras, não foram obtidas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para nenhum elemento avaliado.
- Na área experimental de Itaiópolis o tratamento “Cortando declive” apresentou baixas perdas de solo, menores que a área não preparada. O tratamento “Covas” ao contrário do esperado, manifestou valores maiores que estes dois tratamentos.

- As propriedades físico – hídricas e mecânicas avaliadas em Itaiópolis não demonstraram perturbações que comprometessem a estrutura do solo, ou seja, os resultados obtidos não são considerados críticos de modo geral;
- Em Três Barras ocorreram diferenças significativas de perdas de solo entre os tratamentos avaliados sendo que o “Morro abaixo” foi o que manifestou os maiores valores seguido pelo tratamento “Covas” – “Cortando declive” e “Sem Preparo”. As propriedades físico – hídricas não mostraram valores críticos entre os métodos de preparo avaliados, no entanto a resistência mecânica do solo manifestou diferenças significativas na linha de plantio na ausência de preparo;
- Na duas áreas experimentais a quantidade de resíduo sobre o solo foi maior nos tratamentos “Covas” e “Sem preparo”. Em Itaiópolis a quantidade de resíduo no geral foi menor em todos os tratamentos comparativamente à Três Barras.
- Em Itaiópolis o crescimento em altura das plantas com um ano foi maior nas áreas com menor revolvimento de solo; As plantas na área experimental de Três Barras apresentaram maior crescimento nos tratamentos com revolvimento de solo mais intensivo. Em relação aos teores foliares dos nutrientes, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas em nenhuma das áreas experimentais.
- Na área experimental de Itaiópolis, as propriedades físicas e mecânicas do solo não apresentaram valores considerados críticos, não mostrando aspectos preocupantes em relação a problemas como compactação, no entanto percebe-se a importância da adoção de um método de preparo de solo eficiente no controle do processo erosivo para esta área experimental;
- Já na área de Três Barras, foram detectados problemas com compactação de solo, desta forma o método de preparo de solo deve visar a contenção do processo de erosão hídrica e também a recuperação da estrutura do solo para um melhor desenvolvimento das plantas.

6. RECOMENDAÇÕES

- Na área experimental de Itaiópolis, as chuvas foram melhor distribuídas no período de avaliação e menos intensas, no entanto a declividade é mais acentuada e a textura do solo mais susceptível à erosão. Esta área não demonstrou necessidade de preparo do solo mais intenso visando restaurar a estrutura do solo, em função de compactação. Considerando que a mobilização mais intensa contou com maiores perdas de solo, é recomendável a adoção de cultivo mínimo ou preparo em nível como forma de controle da erosão hídrica. A manutenção do resíduo de colheita também deve ser considerada, tanto como barreira ao processo erosivo como para manutenção de umidade no solo nesta área experimental.
- Na área experimental de Três Barras, a distribuição das chuvas foi menos equilibrada no período de avaliação que em Itaiópolis, concentrando chuvas mais intensas em um determinado período do ano (verão). Desta forma, é recomendável um planejamento das operações de preparo visando expor o solo o mínimo possível nesta época do ano, principalmente em locais de maior declividade, bem como adotar um método de preparo de solo que favoreça a manutenção de resíduos sobre a superfície do solo.
- Considerando a textura muito argilosa desta área, problemas relacionados à compactação devem ser monitorados, e desta forma o preparo do solo assume a função de recuperação da estrutura alterada. Sendo assim, pode-se empregar um método de preparo de solo com revolvimento, mas considerando aspectos conservacionistas, como o preparo em nível.

- O manejo dado a cada sítio deve ser específico, considerando tipo de solo, distribuição da precipitação pluviométrica da região, etc...Considerando estes aspectos deve ser realizado um planejamento das operações de preparo de solo e colheita florestal, visando gerar sempre menores impactos ambientais. Cuidados como: a adoção de maquinário adequado na colheita, trafegar sobre galhada, monitorar a umidade do solo no momento das operações, são de grande importância para evitar danos a estrutura do solo e dificultar conseqüentemente o processo erosivo garantindo assim a sustentabilidade da produção florestal.

REFERÊNCIAS

- AHWI DO BRASIL – Máquinas para preparo florestal. Disponível em <<http://www.ahwi.com.br/equipamentosflorestais/html>> Acesso em: 24 jan. 2005.
- ANTONANGELO, A. Identificação dos riscos de erosão em estradas florestais através de sistema de informações geográficas. Botucatu. 2004. 100 f. Tese de Doutorado. UNESP.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical test for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Society of America, p. 123-141, 1996. (SSAA Special Publication, 49).
- ATTIWILL, P.M.; TURVEY, N.D; ADAMS, M.A. Effects of mound-cultivation (bedding) on concentration and conservation of nutrients in a sandy podzol. **Forest Ecology and Management**, v. 11, p. 97-110, 1985.
- BAHIA, V.G.; CURTI, N.; CARMO, D.N; MARQUES, J.J.G.S. Fundamentos de erosão do solo (tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle). **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.
- BALASTREIRE, L.A. Dinâmica do solo. In: **Máquinas agrícolas**, Ed. Manole, São Paulo, p. 1-29, 1990.
- BALLARD, T.M. Impacts of forest management on Northern forest soils. **Forest Ecology and Management**. v. 133, p.37-42. 2000.
- BELLOTE, A.F.J; SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp*. In: **Nutrição e Fertilização Florestal**. Editores: GONÇALVES, J.L.de M.; BENEDETTI, Cap.4, p.105-133. IPEF, Piracicaba, 2000.
- BERRY, C. R. Subsoiling improves growth of pine on Georgia Piedmont site. **USDA Forest Service Research**, note SE - 284, 3 p., 1979.
- BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. **Bragantia**. n. 9, p. 147-155, 1949.
- BERTOL, I.; COGO, N. P. Terraceamento em sistemas de preparo conservacionista de solo: um novo conceito. **Boletim técnico**, 2. p. 41 Lages, 1996.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASSOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 28, p. 485-494, 2004.

BEUTLER, A.N.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L.P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 27, p. 509-517, 2003.

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

BLEY JR. Erosão: riscos para a agricultura nos trópicos, 2004. Disponível em: <<http://www.miniweb.com.br/artigos/erosão.html>> Acesso em: 20 jan. 2004.

BRASIL – CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRITO, L.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; LEITE, F.P.; Erosão hídrica de Latossolo Vermelho muito argiloso relevo ondulado em área de pós-plantio de eucalipto no Vale do Rio Doce, região Centro Leste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, n 67, p. 27-36, 2005.

BURLA, E.R. **Mecanização de atividades silviculturais em relevo ondulado**. p.144, Belo Oriente: Cenibra – Celulose Nipo – brasileira S.A. Minas Gerais. 2001.

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba. Abril. p. 132., 1997.

CANALLI, B.L. Influência de métodos de preparo e da correção do solo, pré-implantação, na condição hídrica de um latossolo vermelho escuro sob plantio direto. Curitiba. 1993. 97 f. Dissertação de Mestrado. Universidade federal do Paraná.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SÁFADI, T.; FONSECA, S.; Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, n 66, p. 25-37, dez. 2004.

CARVALHO, J.G.; CASTRO, H.A.; YAMADA, I.; SPELTZ, G.E. Nutrição mineral de pinus. In: **Nutrição mineral de Eucaliptus, Pinus, Araucária e Gmelina no Brasil**. Campinas. Fundação Cargill, p. 101. 1983.

CASTRO, A.G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 21, p. 419-426, 1997.

CASTRO, O. M. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 34-42, 06 a 09 de Junho de 1995, Curitiba.

CAVICHIOLO, S.R.; DEDECEK, R.A.; GAVA, J.L. Preparo do solo e o estado nutricional da rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Foretalis**. n 66, p. 120-127, dez. 2004.

CETESB - Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: <[http:// www.cetesb.sp.gov.br/Água/rios/variáveis.asp/](http://www.cetesb.sp.gov.br/Água/rios/variáveis.asp/)> Acesso em: 12 dezem. 2005.

CHANG, C.C.; ATWOOD, J.D.; ALT,K.; MCCARL, B.A. Economic impacts of erosion management measures in coastal drainage basins. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, n 49, p. 606 – 611, 1994.

CHAVES, H.M.L. O modelo WEPP e sua aplicação no Brasil. I. Descrição do modelo. Campinas: IAC, 1992. p. 41-43.

COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. sugestões gerais, medições dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação) In: **Encontro Nacional de Pesquisa sobre conservação do solo**. 2, Passo Fundo. 1978. Anais. Passo Fundo.EMBRAPA. CNPT, 1978. p. 75-98.

COGO, N.P.; LEVIEN,R.; SCHWARTZ, 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** n. 27, p.743-753, 2003.

CONSTANTINI, A. Impacts of pinus plantation management on selected physical properties of soils in the coastal lowlands of south-east Queensland, Australia. **Commonwealth Forestry Review**, v. 74, n. 3, p. 211-223, 1995.

CONSTANTINI, A.; R. J. LOCK. Effects of site preparation on runoff, erosion, and nutrients losses from Pinus plantations established on the coastal lowlands of south – east Queensland, Australia. **Australian Journal of Soil Research** v. 40, n. 8 p. 1287-1302, 2002.

CORRÊA, A. Prejuízos com as perdas de solo nas áreas agrícolas. Disponível em <<http://www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna14.html>> Acesso em: 29 mai. 2005.

CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrofication of receiving waters. **Journal Environment Quality**, n. 27, p. 261 – 266, 1998.

COSTA, L.M.; COSTA, O.V.; OLSZEWSKI, N.; NADIF, P.G.S. Influência das características morfológicas, estruturais e texturais do solo na definição do seu preparo. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF. Cap. 4 , p.205-218, Piracicaba, S.Paulo, 2002.

COUTO, L.; DUBÉ, F. The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21 st century: A review. **The Forestry Chronicle**, 2001, 77, n.5, p. 817 - 830.

COUTO, L.; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M. D. O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: Aspectos Técnicos, Econômicos, Sociais e Ambientais. Belo Horizonte - MG: CEMIG, 44 p. 2000.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. e FONTES, L. E. F. **Vocabulário de Ciência do Solo**. p. 90, Campinas/ SP, 1993.

DEDECEK, R.A. Características físicas e fator de erodibilidade de Oxissols do Rio Grande do Sul. I . Unidades Erechim, Passo Fundo e Santo Ângelo. Porto Alegre. 1974. 130 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DEDECEK, R. A.; MENEGOL, O.; BELLOTE, A. F. J. Avaliação da compactação do solo em plantios jovens de *Pinus taeda*, com diferentes sistemas do preparo do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, jan./jun., p. 5-21, 2000.

DEDECEK, R.A.; RACHWAL, M.F. G.; CURCIO, G.R.; SIMON, A.A. Movimentação do solo para plantio de *Acacia mearnsii*, em dois locais e seu efeito na produtividade e na erosão hídrica deste. Pesquisa em andamento, n 56, nov.98, p.1-9. Disponível em <[http:// www. Embrapa.br/cnpf/pesquisas em andamento/html](http://www.Embrapa.br/cnpf/pesquisas_em_andamento/html)> Acesso em: jan. de 2000.

DOUGHERTY, P.M.; GRESHAM, C. A. Conceptual analysis of southern pine plantation establishment and early growth. **Southern Journal of Applied forestry**, Washington, v. 12, n. 3, p.160-166, 1988.

EDWARDS, W. M.; SHIPTALO, M.J.; OWENS, L.B. Effects of *Lumbricus terrestris* L burrows on hidrology of continuous no-till corn fields. **Geoderma**, Amsterdam, v. 46, p. 73-84,1990.

ELLIOT, W.J.; HALL, D.E.; GRAVES,S.R. Predicting sedimentation from forest roads. **Journal of Forest**, v. 97, n 8, p. 23-29, 1999.

ELTZ, F.L.F; COGO, N.P.; MIELNICZUK, J. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo laterítico Bruno-avermelhado dsitrófico (São Jerônimo): I – resultados do primeiro ano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 1, n 2/3, p. 123-127, maio/dez. 1997.

EIRA, A. F. Influência da cobertura morta na biologia do solo. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 16-33, 06 a 09 de Junho de 1995, Curitiba.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS; 1).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, 1999.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 27, p. 1097-1104, 2003.

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

FONSECA, S.M. **Preparo de solo para implantação de florestas**.Piracicaba, Disciplina de formação e manejo de povoamentos florestais. 1978. 30 p. ESALQ.

FOSTER, P.G.; CONSTANTINI, A.; Pinus plantation establishment in Queensland: II. Site preparation classes. **Australian Forestry**, v. 54, n.1 & 2, p. 83-89, 1991.

FOX, R.T. Sustained productivity in intensively managed Forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 187 - 202, 2000.

FRANCO, E.G. **Processos erosivos: Estratégias para su caracterizacion e implementacion de sus practicas básicas de control e prevencion**. Universidad Nacional de Colômbia, Medellín. p.154. 1999.

FRERE, M. H.; ROSS, J.D.; LANE, L.J. The nutrient sub-model. In: KNISEL W.G., ed. CREAMS: A field-scale model for Chemical , runoff and erosion from agricultural management system. Washington, USDA, 1980. p. 65-87. (Conservation Res. Rept.,).

GATTO, A.; NAIRAM, F. B.; NOVAIS, R.F.; COSTA,L.V.; NEVES, J.C.L. Efeito do métodos de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na

composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. v. 27, n 5, p. 635-646, Viçosa. 2003.

GAVA, J.L.; Cultivo mínimo de solos com textura arenosa e média em áreas planas e suave-onduladas. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF. Cap. 5 , p.223-243, Piracicaba, S.Paulo, 2002.

GHUMAN, B. S.; LAL, R. Effects of soil wetness at the time of lands clearing on physical properties and crop response on and utisol in Southern Nigeria. **Soil & Tillage Research**, v. 22, p. 1-11, Amsterdam, 1992.

GONÇALVES, J.L.M.; Propriedades físico-químicas dos solos vs. exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento. **Circular técnica** n. 154. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, janeiro de 1988.

GONÇALVES, J. L. M. Efeito do cultivo mínimo sobre a fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes. In: **1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p. 43-60, 06 a 09 de Junho de 1995, Curitiba.

GONÇALVES, J.L; de 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. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF. Cap. 1 , p.1-56, Piracicaba, S.Paulo, 2000.

GONÇALVES, J.L. de M.; STAPE, J. L; WICHERT, M.C. P.; GAVA, J. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF. Cap. 3 , p. 133-204, Piracicaba, S.Paulo, 2002.

GONÇALVES, J.L. de M. Principais solos usados para plantações florestais. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF. Cap. 1, p. 1-45, Piracicaba, S.Paulo, 2002.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil & Tillage Research**, v. 11, p. 239-282, Amsterdam, 1988.

HARTANTO,H.; PRABHU.R.; WIDAYAT, A.S.E.; ASDAK,C. Factors affecting runoff and soil erosion: plot – level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. **Forest Ecology and Management**. v.180. p. 361-374, 2003.

HASHIM, G.M.; COUGHLAN, K.J; SYERS, J.K. On-site nutrient depletion: an effect and a cause of soil erosion. **Soil Erosion at Multiple Scales – Principle and**

Methods for Assessing Causes and Impacts. F.W.T. Penning de Vries, F. Agus, J.Kerr. Queensland, Australia. cap.14, p. 207-221, 1998.

HERBAUTS, J.; BAYAD, J. and GRUBER, W. Influence of logging traffic on the hydromorphic degradation of acid forest soils developed on loessic loam in middle Belgium. **Forest Ecology and Management**, v. 87, p. 193-207, 1996.

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

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

HORN, R.; DOMZAL, H.; SLOWINSKA-JURKIEWICZ, A.; OUWERKERK, VAN C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. **Soil & Tillage Research**, v. 35, p. 23-36, 1995

KELLY, D.E.S.; GOMEZ, A.A. Measuring erosion as a component of sustainability. **Soil Erosion at Multiple Scales – Principle and Methods for Assessing Causes and Impacts.** F.W.T. Penning de Vries, F. Agus, J.Kerr. Queensland, Australia. cap.9, p. 133-147, 1998.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo – planta.** S.Paulo, Ceres, 264 p. 1979.

LACEY, S.T. Soil deformation and erosion in forestry. Forestry Commission of New South Wales, Sydney. 62p. 1993.

LAL, R. Agronomic consequences of soil erosion. **Soil Erosion at Multiple Scales – Principle and Methods for Assessing Causes and Impacts.** F.W.T. Penning de Vries, F. Agus, J.Kerr. Queensland, Australia. cap.10, p.149-160. 1998.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil & Tillage Research**, v. 27, n. 1-8, Amsterdam, 1993.

LASO GARICOITS, L.S. Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento do *Pinus taeda* L. em Telêmaco Borba (PR). Curitiba. 1990. 128 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

LEMOS, M.do S. S.; BAHIA, V.G. Erosividade da chuva. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25-31, 1992.

LIMA, P.M.P.; BAHIA, V.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; Princípios de

erodibilidade do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v 16, n 176, p. 38-43, 1992.

MACHADO, C.C. Comparação de taxas de erosão em estradas florestais estimadas pelo modelo WEPP (WATER EROSION PREDICTION PROJECT) modificação em relação a medições experimentais. **Revista Árvore**, Viçosa, v 26, n 3, maio / jun 2002.

MALUF, J.L.P. Efeito da queima, métodos de preparo do solo e da adubação no crescimento de *E. camaldulensis* em Areia Quartzosa. Viçosa. 1991. 78 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, Ministério das Minas e Energia. Secretaria da Ciência e Tecnologia, Minas e Energia. Coordenadoria dos Recursos Minerais, 1986.

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

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A.L.V.; CARRAFA, M.R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido á chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 27, p. 901-909, 2003.

MELO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A. e KIEHL, E. J. **Fertilidade do Solo**. Piracicaba: Nobel, 400 p. 1984.

MERINO A.; EDESO, J.M. Soil fertility rehabilitation in Young *Pinus radiata*, D. Don. plantations from northern Spain after intensive site preparation. **Forest Ecology and Management**. n. 116, p. 83-91, 1999.

MHANDO, M.L.; MALIONDO, S. M.; MUGASHA, A. G. Early response of *Eucalyptus saligna* to sites preparation and fertilisation at Sao Hill, Tanzania. **Forest Ecology and Management**, v. 62, p. 303-311, 1993.

MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. USP, Polígono, São Paulo, 1972.

MONKE, E.J MARELLI, H.J., MEYER, L.D.; JONG, J.F. Runoff erosion and nutrient movement from interill areas. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. St. Joseph, n. 20, p. 58-61, 1976.

MORO, L.; JR. COMINATO, J.L.; COLLI, G.; CANEVA, R.A. Rebaixamento de tocos de Eucalyptus. **Circular Técnica**, n.165, dezembro de 1988, IPEF, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais-Piracicaba-SP.

NAMBIAR, E. K. S. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. **Soil Science Society American Journal**, v. 60, p. 1629-1642, 1996.

ÑUNEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; Conseqüências de diferentes sistemas de preparo de solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**. v. 62, n.1, p. 101-109, 2003.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil. Jaboticabal, FUNEP, 201 p. 1992.

OLIVEIRA, C. V.; BAHIA, V. G.; PAULA, M. B. de Compactação do solo devido a mecanização florestal: causas, efeitos e práticas de controle. **Informe Agropecuário**. EPAMIG, v. 19, n. 191, p. 46-48, 1998. Belo Horizonte/ MG.

OLARIETA, J.R.; BESGA, G.; RODRIGUEZ, R.; USÓN, A.; PINTO, M.; VIRGEL, S. Sediment enrichment ratios after mechanical site preparation for *Pinus radiata* plantation in the Basque Country. Spain. **Geoderma**, v. 93, p.255-267, 1999.

PARSONS, D.A. Coshocton – Type Runoff Samplers. United States Department of agriculture, Soil Conservation Service. Washington, p.16. 1954.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M. DE F.; ZEMPULSKI, H. DA C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR. 39 p. 1992.

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

PRITCHETT, W.L.; FISHER, R.F. **Properties and management of Forest soils**. New York, Wiley and sons, 493p. 1987.

PYE, J.M.; VITOUSEK, P.M.; Soil and nutrients removals by erosion and windrowing at a Southeastern, U.S. Piedmont site. **Forest Ecology and Management**, v. 11, p. 145-155, 1985.

QUIMIOAMBIENTAL Laboratórios. Parâmetros de qualidade de água. Disponível em <<http://www.quimioambiental.com.br/parâmetros.htm>> Acesso em: 12 dezem. 2005.

QUINTON, J.N.; CATT, J.A.; HESS, T.M. The selective removal of phosphorus from soil is event size important? **Journal of Environment Quality**, n. 30, p. 538-545, 2001.

RAB, M. A. Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus reganans* forest of southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 84, n. 1-3, august, p. 159-176, 1996.

RAB, M. A. Rehabilitation of snig tracks and landings following of *Eucalyptus regnans* forest in the Victorian Central Highlands - a Review **Australian Forestry**, v. 61, n. 2, p. 103-113, 1998.

RAISON, R.J.; KHANNA, P.K.; Transfer of elements to the atmosphere during low-intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalyptus forests. *Can. J. For. Res.*, Ottawa, n 15, 657-664, 1985.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e energia nos ecossistemas**. Piracicaba, USP, 350p. 1996.

REISINGER, T. W. The impact of timber harvesting on soil properties and seedling growth in the south. **Journal of Applied Southern Forestry**, v. 12, n. 1, february, 1988.

REISSMANN, C.B. Exigências nutricionais nos plantios de pinus. Disponível em: **Revista da Madeira**. < [http:// www. remade.com.br.Artigos online.](http://www.remade.com.br/Artigos%20online/)> Acesso em: 20 mai. 2003.

REISSMANN, C.B.; KOEHLER, C. W.; PAULA SOUZA, M.L. **Classificação de sítio para *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* no Segundo Planalto do Paraná**. Subprojeto I. Nutrição. UFPR/FUNPAR/FINEP, n 1, 1-286. 1990.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.128, p. 38-54, 1985.

RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A.; LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a susceptibilidade à erosão. In: **Simpósio sobre manejo e conservação do solo no cerrado**. Goiânia, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, p. 32-93. 1992.

SANCHES, O.A.; YONEZAWA, J.T.; ZEN, S. Evolução do cultivo mínimo em reflorestamentos na Cia. Suzano de Papel e Celulose. In: **1º Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas**, p. 140-147, 06 a 09 de junho, Curitiba, 1995.

SANDS, R.; GREACEN, E. L.; GERARD, C. G. Compaction of sands soils in radiata pine forests: I. A Penetrometer Study. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, n. 1, p. 101-113, 1979.

SANTOS FILHO, A.; DA ROCHA, H. O. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda* L. no 2º planalto paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**. Dept. de Solos do Setor de Ciências agrárias – UFPR. V.9, p.107-111, 1987.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba, ESALQ, 56p, 1974.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura: Estatísticas do setor florestal brasileiro: empregos diretos e indiretos gerados pelo setor florestal brasileiro. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.html>>: Acesso em : 10 dezem. 2004.

SCHICK, J.; BERTOLI, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 24, p. 427-436, 2000.

SCHUMACHER, M.V. Impactos ambientales de las plantaciones de pinus e eucaliptos. In: SILVOARGENTINA I, Governador Virasoro, Corrientes, 2000. CD-ROM.

SEIXAS, F.; MENDO, J.L.L.; Teste de implemento para rebaixamento de tocos em áreas de reforma de povoamentos de eucalipto. **Circular Técnica** n. 173, Junho, 1990. IPEF. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.

SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C.; REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: issue and options. **Journal of Environmental Quality**. n.23, p. 437-451, 1994.

SILVA, J.R. Compactação do solo exercida por tráfego de colheita e transporte da madeira. Botucatu. 2003. 132 f. Tese de Doutorado. UNESP.

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.

SIMÕES, J.W.; BRANDI, R.M.; LEITE, N.B.; BALLONI, E.A. **Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 131p. 1981.

SMITH, C.W.; LITTLE, K.M., NORRIS, C. H.; The effect of land preparation at re-establishment on the productivity of fast growing hardwoods in South Africa. **Institute for Commercial Forestry research**. Scottsville, South Africa, p. 165-174, 2001.

SOTO, B.; BASANTA, R.; PEREZ, R.; DIAZ-FIERROS, F. An experimental study of the influence of traditional slash-and-burn practices on soil erosion. Spain. **Catena**, v. 24, p. 13-23, 1995.

SOUZA, M.D. Infiltração de água em Latossolo Roxo distrófico submetido a diferentes manejos. Porto Alegre. 1985. 133 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

STAPE, J.L.; ANDRADE, S.; GOMES, A.N.; KREJCI, L.C.; RIBEIRO, J.A. Definição de métodos de preparo do solo para silvicultura em solos coesos do litoral norte da Bahia. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais –IPEF. Cap. 7 , p. 259-296, Piracicaba, S.Paulo, 2002.

STUART, R.; NORRIS, C. H. Regeneration methods. . Institute for Commercial Forestry Research. Scottsville. South Africa. **Annual Research Report**, p. 35-69, 1995.

THEODOROU, C.; CAMERON, J. N.; BOWEN, G. D. Growth of roots of different *Pinus radiata* genotypes in soil at different strength and aeration. **Australian Forestry**, v. 54, n. 1, 2, p. 52-59, 1991.

TIARKS, A.E.; HAYWOOD, J.D.; Site preparation and fertilization effects on growth of slash pine for two rotations. **Soil Science Society American Journal**, v. 60, p. 1654-1663. 1996.

TOMÉ JR. J.B. **Manual de interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 247p. 1997.

VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N,P,K. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, 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**, n 28, p. 763-774, 2004.

VOORHEES, W.B. Relative Effectiveness of Tillage and Natural Forces in Alleviating Wheel-Induced Soil Compaction. **Soil Science Society American Journal**, v. 47, p. 129-133, 1983.

WHITMAN, A. A.; BROKAW, V. L.; HAGAN, J. M. Forest damage caused by logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. **Forest Ecology and Management**, v. 92, n.1-3, p. 87-96, 1997. Amsterdam.

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, n 26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses. Washington, 1965. (Agriculture handbook, 537).

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall – erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p. 1978. (USDA. Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, v. 39, p.285-291, 1958.

WISNEWSKI, C.; REISSMANN, C.B. Aspectos Nutricionais de plantios de Pinus. In: **Nutrição e Fertilização Florestal**. Editores: GONÇALVES, J.L.de M; BENEDETTI, Cap.5, p.136-165. IPEF, Piracicaba, 2000.

WORRELL, R.; HAMPSON, A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils - a review. **Forestry**, v. 70, n. 1, p. 61-84, 1987.

XU, Y.J.; BURGER, J.A.; AUST, M.; PATTERSON, S.C. Changes in surface water table depth and soil physical properties after harvest. **Soil & Tillage Research**, v.63, p. 109-121, Amsterdam, 2002.

YOUNG, R.A. Characteristics of eroded sediment. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, n.1146, p. 1139 – 1142, 1980.

ZEN, S. ; YONEZAWA, J.T.; FELDEBERG, J.E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. Anais do 1º **Seminário Sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, p.65-72, 06 a 09 de Junho, Curitiba, 1995.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JR, P. **SANEST- Sistema de análise estatística para micro-computadores**. Pelotas: UFPEL, 1984.

ANEXOS

ANEXO 1 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (cm/h) DO SOLO NAS PROFUNDIDADES ENTRE 0 – 10 cm e 10 – 20 cm, E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO (cm/h)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
0 a 10 cm	Tratamentos	3	573,666	191,222	31,0090	0,00028
	Resíduo	8	49,333	6,166		
	Total	11	623,000			
c.v.: 10,56 %						
10 a 20 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	129,666	43,222	24,6984	0,00047
	Resíduo	8	14,000	1,7500		
Total	11	143,666				
c.v.: 8,72%						
Tratamentos	Médias - Tukey - 5%					
	0 a 10 cm	10 a 20 cm				
Cortando declive	29,00 a	17,00 ab				
Morro abaixo	31,66 a	9,33 a				
Sem Preparo	16,00 b	10,66 c				
Covas	17,33 b	13,66 bc				

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

ANEXO 2 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A MACROPOROSIDADE DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES AVALIADAS, E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

MACROPOROSIDADE (%)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
0 a 10 cm	Tratamentos	3	1160,735	386,911	32,584	0,00025
	Resíduo	8	94,993	11,874		
	Total	11	1255,72			
c.v.: 16,57%						
10 a 20 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	733,936	244,645	49,027	0,00011
	Resíduo	8	39,919	4,989		
Total	11	773,856				
c.v.: 12,12%						
20 a 30 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	173,446	57,815	17,858	0,00104
	Resíduo	8	25,899	3,237		
Total	11	199,346				
c.v.: 12,43%						
Tratamentos	Médias - Tukey - 5%					
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm			
Cortando declive	30,1 a	25,4 a	16,6 a			
Morro abaixo	31,1 a	26,9 a	19,6 a			
Sem Preparo	11,1 b	10,9 b	11,0 b			
Covas	10,7 b	10,3 b	10,5 b			

ANEXO 3 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A MICROPOROSIDADE DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES AVALIADAS, E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

MICROPOROSIDADE (%)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
0 a 10 cm	Tratamentos	3	348,435	116,145	73,316	0,00005
	Resíduo	8	12,673	1,584		
	Total	11	361,1			
	c.v.: 3,38%					
10 a 20 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	286,477	95,492	19,605	0,00082
	Resíduo	8	38,965	4,87		
	Total	11	325,442			
c.v.: 5,38%						
20 a 30 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	168,562	56,187	9,595	0,0055
	Resíduo	8	46,846	5,855		
	Total	11	215,409			
c.v.: 5,73%						
Tratamentos	Médias - Tukey - 5%					
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm			
Cortando declive	30,6 b	35,3 b	37,3 b			
Morro abaixo	33,0 b	37,3 b	41,3 b			
Sem Preparo	42,4 a	44,0 a	42,3 ab			
Covas	42,5 a	47,3 a	47,8 a			

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

ANEXO 4 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A POROSIDADE TOTAL DO SOLO NA PROFUNDIDADE DE 0 – 10 cm, E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

POROSIDADE TOTAL (%)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
0 a 10 cm	Tratamentos	3	122,409	40,803	5,635	0,02268
	Resíduo	8	57,919	7,239		
	Total	11	180,329			
c.v.: 3,90%						
Tratamentos	Médias - Tukey - 5%					
	0 a 10 cm					
Cortando declive	71,0 a					
Morro abaixo	67,0 ab					
Sem Preparo	62,0 b					
Covas	68,7 ab					

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey

ANEXO 5 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A MACROPOROSIDADE DO SOLO NAS TRÊS PROFUNDIDADES AVALIADAS E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

MACROPOROSIDADE (%)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
0 a 10 cm	Tratamentos	3	439,948	146,649	12,208	0,00286
	Resíduo	8	96,1	12,012		
	Total	11	536,049			
	c.v.: 12,01%					
10 a 20 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	630,389	210,129	25,4318	0,0004
	Resíduo	8	66,099	8,262		
	Total	11	696,489			
c.v.: 14,52%						
20 a 30 cm	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	497,779	165,926	22,202	0,0006
	Resíduo	8	59,786	7,473		
	Total	11	557,566			
c.v.: 14,36%						
Tratamentos	Médias - Tukey - 5%					
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm			
Cortando declive	35,4a	26,1 a	26,3 a			
Morro abaixo	34,3a	27,6 a	24,6 a			
Sem Preparo	22,7 b	10,7 b	12,6 b			
Covas	22,8 b	14,6 b	12,5 b			

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey

ANEXO 6 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA A MICROPOROSIDADE DO SOLO NAS PROFUNDIDADES ENTRE 10 – 20 cm e 20 – 30 cm, E COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS (TESTE DE TUKEY-5%) NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

MICROPOROSIDADE (%)						
Profundidade	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
10 a 20 cm						
	Tratamentos	3	465,669	155,223	26,276	0,0004
	Resíduo	8	47,259	5,907		
	Total	11	512,929			
	c.v.: 5,61%					
20 a 30 cm						
	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
	Tratamentos	3	404,989	134,996	24,0203	0,0005
	Resíduo	8	44,96	5,62		
	Total	11	449,95			
	c.v.:5,58%					
Tratamentos		Médias - Tukey - 5%				
		10 a 20 cm	20 a 30 cm			
	Cortando declive	40,0 b	40,0 b			
	Morro abaixo	45,0 b	41,0 b			
	Sem Preparo	51,0 a	47,8 a			
	Covas	47,0 a	48,6 a			

Nota: Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey

ANEXO 7 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE MAGNÉSIO, POTÁSSIO E CARBONO NO SOLO (CAMADA 0 - 4 cm) NO TRATAMENTO MORRO ABAIXO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Magnésio (cmol _c /dm ³)	Tratamentos		1	0,098	0,099	9,3	0,03838
	Resíduo		4	0,042	0,011		
	Total		5	0,141			
		c.v.: 22,98%					
		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Potássio (cmol _c /dm ³)	Tratamentos		1	0,066	0,066	14,9	0,01909
	Resíduo		4	0,017	0,004		
	Total		5	0,083			
		c.v.: 20,91%					
		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Carbono (g/dm ³)	Tratamentos		1	327,081	327,081	6,102	0,06874
	Resíduo		4	214,406	53,601		
	Total		5	541,488			
		c.v.: 20,12%					

ANEXO 8 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE ARGILA (CAMADA 0 - 4 cm) NO TRATAMENTO MORRO ABAIXO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Argila (g/kg)	Tratamentos		1	240,666	240,666	11,645	0,0276
	Resíduo		4	82,666	20,666		
	Total		5	323,333			
		c.v.: 10,41%					

ANEXO 9 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE MAGNÉSIO E CARBONO NO SOLO (CAMADA 0 – 4 cm) NO TRATAMENTO MORRO ABAIXO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Magnésio (cmol _c /dm ³)	Tratamentos		1	0,013	0,013	30,154	0,0067
	Resíduo		4	0,0017	0,0004		
	Total		5	0,0148			
c.v.: 6,93%							
		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Carbono (g/dm ³)	Tratamentos		1	564,54	564,54	12,842	0,02391
	Resíduo		4	175,833	43,958		
	Total		5	740,373			
c.v.:14,85%							

ANEXO 10 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE CARBONO NO SOLO (CAMADA 0 – 4 cm) NO TRATAMENTO SEM PREPARO, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

Carbono	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
(g/dm ³)	Tratamentos	1	977,926	977,926	10,771	0,03103
	Resíduo	4	363,153	90,788		
	Total	5	1341,08			
c.v.:19,48%						

ANEXO 11 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS TEORES DE MAGNÉSIO NO SOLO (CAMADA 0 – 4 cm) NO TRATAMENTO COVAS, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE TRÊS BARRAS

		causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Magnésio (cmol _c /dm ³)	Tratamentos		1	0,045	0,045	14,01	0,02099
	Resíduo		4	0,0128	0,003		
	Total		5	0,0579			
c.v.: 14,06%							

ANEXO 12 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA OS ELEMENTOS : CÁLCIO, POTÁSSIO, FÓSFORO E CARBONO ASSOCIADOS AO SEDIMENTO PARA OS MÉTODOS DE PREPARO AVALIADOS, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Cálcio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	Tratamentos	3	18,2607	6,0869	6,7068	0,00108
	Resíduo	44	39,933	0,9075		
	Total	47	58,193			
	c.v.: 42,93%					
Potássio ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	Tratamentos	3	0,2862	0,0954	16,7333	0,00001
	Resíduo	44	0,2509	0,0057		
	Total	47	0,5371			
	c.v.:31,19%					
Fósforo (mg/dm^3)	Tratamentos	3	322,6556	107,5518	72,1999	0,00001
	Resíduo	44	65,5441	1,4896		
	Total	47	388,1997			
	c.v.:21,46%					
Carbono (g/dm^3)	Tratamentos	3	560,6578	186,8859	5,9323	0,00206
	Resíduo	44	1386,133	31,503		
	Total	47	1946,7908			
	c.v.:20,30%					

ANEXO 13 - QUADRO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA PARA AS CONCENTRAÇÕES DOS NUTRIENTES – POTÁSSIO E FÓSFORO – NA ÁGUA, ENTRE OS MÉTODOS DE PREPARO AVALIADOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE ITAIÓPOLIS

	causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob>F
Potássio (mg/L)	Tratamentos	3	5,6124	1,8708	6,7666	0,00103
	Resíduo	44	12,1649	0,2764		
	Total	47	17,7773			
	c.v.:17,85%					
Fósforo (mg/L)	Tratamentos	3	0,00106	0,00035	18,168	0,00001
	Resíduo	44	0,00086	0,00001		
	Total	47	0,001928			
	c.v.:19,10%					

