

**EROSÃO HÍDRICA EM CULTIVO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii*, SOB TRÊS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Manejo do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Manejo do solo.

Orientador: Ildegardis Bertol

**LAGES – SC  
2013  
JUSCELIA PADILHA**

P123e

Padilha, Juscelia

Erosão hídrica em cultivo inicial de *Eucalyptus benthamii*, sob três métodos de preparo do solo / Juscelia Padilha.- 2013.

97 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Ildegardis Bertol

Bibliografia: p. 81-89

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2013.

1. Cambissolo. 2. Escoamento superficial.3. Sistemas de preparo. 4.Reflorestamento I. Padilha, Juscelia.

II. Bertol, Ildegardis. III.Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

**EROSÃO HÍDRICA EM CULTIVO INICIAL DE *Eucalyptus benthamii*, SOB TRÊS MÉTODOS DE PREPARO DO SOLO**

Dissertação do curso de Mestrado em Manejo do Solo/ Centro de Ciências Agroveterinárias/ Universidade do Estado de Santa Catarina/ Grau de Mestre em Manejo do Solo, área de concentração de Uso e Conservação do Solo.

**Banca examinadora:**

Orientador:

\_\_\_\_\_  
Professor Dr. Ildegardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

\_\_\_\_\_  
Professor Dr. André Felipe Hess  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

\_\_\_\_\_  
Professora. Dra. Letícia Sequinatto  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:

\_\_\_\_\_  
Professora. Dra. Luciane Costa de Oliveira  
Instituto Federal de Santa Catarina/Lages

**Lages - SC, 28/06/2013**

Dedico aos meus pais, Neusa da Silva Padilha e João Maria Padilha, que me ensinaram ter perseverança e, acima de tudo, comprometimento, honestidade e humildade em todas as minhas ações.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e pelas oportunidades.

Aos meus pais, João e Neusa, pela educação, pelo amor e apoio incondicionais.

Aos meus irmãos, Paulo, Marco e Cristiane, e a toda minha família, pelos importantes exemplos que me mostraram a relevância dos estudos para a minha vida profissional e pessoal.

Ao Professor Ildegardis Bertol, pela orientação segura e paciência para a realização deste trabalho. Seus ensinamentos agregaram valores importantes para minha vida profissional e até mesmo pessoal.

À empresa Klabin S.A. pela seção da área experimental, financiamento de parte do projeto e disponibilização de recursos humanos que, sempre muito prestativos, deram-me todo o apoio necessário durante a condução dos trabalhos de campo.

Ao CNPq, por parte dos recursos financeiros para desenvolver o projeto.

Do fundo do meu coração, agradeço a duas pessoas que foram essenciais para a realização desta pesquisa: a minha colega de laboratório, Ma. Juliana Marioti, amiga, confidente, companheira de estudos e descontração, pela dedicação e parceria durante estes dois anos de curso; e, ao meu grande parceiro de todas as horas, principalmente as mais difíceis, Fernando Andrade Bertoletti, pelo apoio essencial na finalização deste trabalho.

Aos divertidíssimos amigos e colegas do laboratório, Fabrício, Romeu, Júlio, Roger, José, Jéssica, Gabriel, Murilo, Lauro, Leonardo, Eduardo, Fernando, Hugo, Marco, Mitsui e demais colaboradores, não só pelo apoio na coleta de dados e nas análises laboratoriais, mas também pelo carinho, respeito, descontração e sincera amizade.

Aos amigos/colegas de mestrado, que foram importantes incentivadores na execução deste trabalho, aos quais estimo muito: Gabriel, Myrcia, Luiz, Luciana, Gessiane, Ariane, Leandra, André Buck e, em especial ao Bruno R. De Oliveira.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, pela formação profissional.

E a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste sonho.

Muito obrigada!

## RESUMO

O preparo do solo é uma das operações mais importantes na implantação de florestas plantadas, pois afeta alguns processos hidrológicos e a erosão hídrica do solo. O presente trabalho objetivou quantificar as propriedades físicas do solo e perdas de água, solo e nutrientes por erosão hídrica pluvial, assim como o desenvolvimento inicial da cultura, entre o segundo e o terceiro ano de cultivo de *Eucalyptus benthamii*, em um experimento situado no sul do Brasil, sobre um Cambissolo Háplico alítico latossólico, sob três tratamentos, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições: I) preparo em sulco a favor do declive (SFD); II) preparo em sulco em contorno ao declive (SCD); e, III) preparo com coveamento manual (CM). As parcelas tem dimensão de 12x24m, com maior comprimento no sentido do declive, e tanques para coleta de enxurrada na sua parte inferior. As amostras de solo para análise física e química nas profundidades 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm e de 20-40cm foram feitas no início e no final do período experimental. As amostras das camadas superficiais de solo para análise química foram feitas em cinco períodos. As coletas de enxurrada foram realizadas semanalmente, com chuvas acumuladas. Os valores de densidade do solo e porosidade não apresentaram diferença significativa no tempo e nem entre os tratamentos. As perdas de solo e água foram maiores no tratamento SFD e menores no CM. Os teores de C orgânico e nutrientes na superfície do solo mostraram susceptíveis às variações de volume de chuva. As perdas acumuladas de P disponível, Mg e Al trocável foram maiores no CM e, de K e Ca trocável foram maiores no SFD. O desenvolvimento inicial da cultura foi maior nos tratamentos SFD e SCD e menor no CM. Os resultados obtidos indicam que o tratamento SCD é uma boa opção, para reduzir as perdas provocadas pela erosão hídrica e favorecer o desenvolvimento inicial da cultura de *Eucalyptus benthamii*, sendo este o recomendado para áreas com condições similares as apresentadas neste estudo.

**Palavras-chave:** cambissolo, escoamento superficial, sistemas de preparo, reflorestamento.

## ABSTRACT

Soil tillage is one of the most important operations in the implementation of planted forests, it affects some hydrological processes and water erosion soil. This study aimed to quantify the physical properties of soil and water loss, soil and nutrients by rainfall erosion, as well as the initial development of culture, between the second and third year of cultivation of *Eucalyptus benthamii* in an experiment located in southern Brazil, on a Haplic cambisol, under three treatments, in a randomized block design with three replications: i) preparation in favor furrow slope (SFD), II) preparation of the furrow in slope contour (SCD), III) manual preparation hole (CM). The plot has dimension of 12 x 24 m, with greater length in the direction of the slope, and tanks to collect runoff at the bottom. Soil samples for physical and chemical analysis in depth 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm and 20-40cm were taken at the beginning and end of the experimental period. Samples of the surface layers of soil for chemical analysis were carried out in five periods. The collects of the runoff were made weekly with rainfall accumulated. The values of soil density and porosity showed no significant difference in time or between treatments. The loss of soil and water were higher in the treatment SFD and lower in CM. The contents of organic carbon and nutrients in the soil surface showed susceptible to variations in rainfall volume. The accumulated losses of available P, Mg and Al were higher in CM and, K and Ca were higher in the SFD. The initial development of culture was higher in treatments SFD and SCD and lower in CM. The results indicate that treatment SCD is a good option to reduce losses caused by water erosion and encourage the early development of the culture of *Eucalyptus benthamii*, which is recommended for areas with conditions similar to those presented in this study.

**Key-words:** Haplic cambisol, runoff, tillage systems, reforestation

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – IMAGEM AÉREA DA ÁREA EXPERIMENTAL, COM DESTAQUE À POSIÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS COM SEUS RESPECTIVOS TRATAMENTOS: SUBSOLAGEM A FAVOR DO DECLIVE (SFD), SUBSOLAGEM EM CONTORNO AO DECLIVE (SCD) E COVEAMENTO MANUAL (CM).....	26
FIGURA 2 – ALTURA DE CHUVA MENSAL HISTÓRICA DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	27
FIGURA 3 - IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO À CAMPO, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO, EM OTACÍLIO COSTA, SC (A); TANQUES COLETORES DE ENXURRADA E DIVISOR TIPO GEIBB, APÓS 24 MESES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO (B). 31	
FIGURA 4. ALTURA DE CHUVA MENSAL HISTÓRICA DA ÁREA EXPERIMENTAL E OBSERVADA DURANTE O PERÍODO DA PESQUISA. ....	39
FIGURA 5 – POROSIDADE TOTAL, COM IDENTIFICAÇÃO DA MICRO E MACROPOROSIDADE DO SOLO, EM 2011 E 2012, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES E DAS QUATRO PROFUNDIDADES DO SOLO). ....	46
FIGURA 6 – PERDAS TOTAIS DE ÁGUA NO PERÍODO DE 2011 A 2012, EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO.....	51
FIGURA 7 – PERDAS TOTAIS DE SOLO NO PERÍODO DE 2011 A 2012, EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO.....	52
FIGURA 8 – ALTURA DE CHUVA MENSAL OBSERVADA E PERDAS DE SOLO E ÁGUA MENSAIS, NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO EUCALIPTUS BENTHAMII, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DOS TRATAMENTOS E DOS BLOCOS PARA AS PERDAS DE SOLO E ÁGUA). ....	53

FIGURA 9 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DA PA (A) E DA PS (B) EM FUNÇÃO DA ALTURA DE CHUVA, COM DADOS DE 2011 A 2012, INCLUINDO VALORES DOS TRATAMENTOS E DOS BLOCOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO.....	55
FIGURA 10 – TEORES DE C ORGÂNICO E AL TROCÁVEL ENTRE 2011 E 2012, EM QUATRO PROFUNDIDADES NO SOLO (0-5, 5-10, 10-20 E 20-40 CM), PARA CADA TRATAMENTO, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. ....	59
FIGURA 11 – TEORES DE P DISPONÍVEL E K TROCÁVEL ENTRE 2011 E 2012, EM QUATRO PROFUNDIDADES NO SOLO (0-5, 5-10, 10-20 E 20-40 CM), PARA CADA TRATAMENTO, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. ....	60
FIGURA 12 – TEORES DE CA TROCÁVEL E MG TROCÁVEL ENTRE 2011 E 2012, EM QUATRO PROFUNDIDADES NO SOLO (0-5, 5-10, 10-20 E 20-40 CM), PARA CADA TRATAMENTO, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. ....	62
FIGURA 14 – TEORES DE P DISPONÍVEL E K TROCÁVEL, ENTRE 2011 E 2012, NA LINHA E NA ENTRE-LINHA, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO, (MÉDIA DE TRÊS PONTOS DENTRO DE CADA UNIDADE EXPERIMENTAL, E DOS BLOCOS).....	65
FIGURA 15 – TEORES DE CA E MG TROCÁVEIS, ENTRE 2011 E 2012, NA LINHA E NA ENTRE-LINHA, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO, (MÉDIA DE TRÊS PONTOS DENTRO DE CADA UNIDADE EXPERIMENTAL, E DOS BLOCOS).....	67
FIGURA 16 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE P (A) E K (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO SFD. ....	69

FIGURA 17 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE P (A) E K (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO SCD. ....	70
FIGURA 18 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE P (A) E K (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO CM. ....	71
FIGURA 19 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CA (A) E MG (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO SFD. .....	72
FIGURA 20 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CA (A) E MG (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO SCD. .....	73
FIGURA 21 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CA (A) E MG (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DESTES NA CAMADA DE 0–3 CM DO SOLO, NO TRATAMENTO CM. ....	74
FIGURA 22 – PERDAS ACUMULADAS DE P (A) E K (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM CADA TRATAMENTO (MÉDIA DOS BLOCOS).....	75
FIGURA 23 – PERDAS ACUMULADAS DE CA (A) E MG (B) NA ÁGUA DA ENXURRADA, EM CADA TRATAMENTO (MÉDIA DOS BLOCOS).....	77

## LISTA DE TABELA

TABELA 1. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E TEXTURA DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	28
TABELA 2. CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
TABELA 3. DENSIDADE DO SOLO EM 2011 E 2012, EM QUATRO PROFUNDIDADES DO SOLO, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DE TRÊS REPETIÇÕES). .....	40
TABELA 4. POROSIDADE TOTAL DO SOLO EM 2011 E 2012, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DOS TRÊS BLOCOS). .....	42
TABELA 5. MACROPOROSIDADE DO SOLO EM 2011 E 2012, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DOS TRÊS BLOCOS). .....	44
TABELA 6. DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO DE AGREGADOS DO SOLO RELATIVO EM 2012, EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DO SOLO, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DOS TRÊS BLOCOS). .....	47
TABELA 7. VALOR DA PRECIPITAÇÃO TOTAL E PERDAS TOTAIS DE ÁGUA E SOLO NO PERÍODO DE 2011 A 2012 NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO (MÉDIA DOS TRÊS BLOCOS). .....	49
TABELA 8. PERDAS DE ÁGUA E SOLO POR ESTAÇÃO DO ANO, NOS TRÊS TRATAMENTOS, EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. ....	56
TABELA 9. ÍNDICE DE SOBREVIVÊNCIA, ÁREA BASAL, VOLUME DE MADEIRA E INCREMENTO MÉDIO NA IDADE DE MEDIÇÃO PARA UMA	

FLORESTA DE *EUCALYPTUS BENTHAMII* COM DOIS ANOS DE IDADE EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. .... 78

TABELA 10. VALORES DE DENSIDADE, POROSIDADE TOTAL, MICRO E MACRO EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL EM 2011 (INÍCIO DO EXPERIMENTO)..... 90

TABELA 11. VALORES DE DENSIDADE, POROSIDADE TOTAL, MICRO E MACRO EM CADA UNIDADE EXPERIMENTAL EM 2012 (FINAL DO EXPERIMENTO)..... 91

TABELA 12. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE C, P, K, CA E MG E AL NA CAMADA DE 0-3 CM DO SOLO, NA LINHA DE ADUBAÇÃO, EM CINCO PERÍODOS NOS TRÊS TRATAMENTOS, PARA UMA FLORESTA DE *EUCALYPTUS BENTHAMII* EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. .... 93

TABELA 13. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS TEORES DE C, P, K, CA E MG E AL NA CAMADA DE 0-3 CM DO SOLO, NA ENTRE-LINHA DA ADUBAÇÃO, EM CINCO PERÍODOS NOS TRÊS TRATAMENTOS, PARA UMA FLORESTA DE *EUCALYPTUS BENTHAMII* EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. .... 95

TABELA 14. RESULTADO DE ÁREA BASAL, ALTURA MÉDIA, VOLUME E IMIM PARA CADA UNIDADE EXPERIMENTAL NOS TRÊS TRATAMENTOS, PARA UMA FLORESTA DE *EUCALYPTUS BENTHAMII* EM UM CAMBISSOLO HÁPLICO ALÍTICO LATOSSÓLICO. .... 97

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 EROSIÃO HÍDRICA DO SOLO.....	16
2.1.1 Fatores que afetam a erosão hídrica do solo .....	16
2.1.2 Efeitos da erosão hídrica no solo.....	19
2.2 SISTEMA DE CULTIVO DO SOLO.....	21
2.2.1 Efeito do sistema de cultivo do solo na erosão hídrica.....	21
2.2.2 Efeito do sistema de cultivo no crescimento das plantas .....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL .....	26
3.1.1 Localização .....	26
3.1.2 Clima.....	27
3.1.3 Solo.....	27
3.1.4 Histórico de uso e manejo da área experimental.....	29
3.2 UNIDADE EXPERIMENTAL: DIMENSÕES E PREPARO.....	30
3.3 TRATAMENTOS ESTUDADOS .....	32
3.4 DETERMINAÇÕES REALIZADAS NESTE TRABALHO.....	34
3.4.1 Análise física e química entre 0 e 40cm de profundidade .....	34
3.4.2 Perdas de água e solo por erosão hídrica.....	35
3.4.3 Análise química na superfície do solo.....	36
3.4.4 Perdas de nutrientes por erosão hídrica.....	36
3.4.5 Desenvolvimento inicial da floresta.....	37
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	39
4.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO .....	39
4.2.1 Densidade e porosidade do solo.....	39
4.2.2 Estabilidade de agregados em água .....	47
4.3 PERDAS DE ÁGUA E SOLO .....	48
4.3.1 Perdas de água e solo em base anual .....	48

4.3.2 Perdas de água e solo em base estacional .....	55
4.4 TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO .....	57
4.4.1 Na profundidade de 0 - 40 cm do solo .....	57
4.4.2 Na camada superficial do solo de 0 - 3 cm .....	63
4.5 PERDAS DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ENXURRADA .....	68
4.5.1 Coeficiente de Determinação.....	68
4.5.2 Perdas Acumuladas .....	75
4.6 DESENVOLVIMENTO INICIAL DA FLORESTA.....	77
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>81</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>90</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O plantio de espécies arbóreas, em sua maioria, feita na forma de monocultivo, com finalidade comercial, vem se destacando, a nível nacional, pela sua importância econômica. Dados da ABRAF (2012) revelam que a área plantada com espécies florestais exóticas no Brasil compreende cerca de sete milhões de hectares, sendo boa parte dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, participando com aproximadamente oito bilhões de reais na arrecadação tributária anual e com a geração de quase cinco milhões de empregos.

A área de florestas plantadas no estado de Santa Catarina representa aproximadamente 10% do total brasileiro, sendo a maioria ocupada por *Pinus sp*, cerca de 540 mil ha, seguido por *Eucalyptus sp*, com aproximadamente 107 mil ha (ABRAF, 2012). Isto se deve às características semelhantes da madeira dessas espécies às das madeiras nobres, tendo alta versatilidade e baixo custo de produção.

Segundo Barros e Comerford (2002), o aumento de áreas cultivadas com florestas plantadas pode trazer benefícios ambientais indiretos, pois o cultivo delas diminui a pressão sobre a exploração de florestas nativas por parte de madeireiros.

O governo federal forneceu incentivos para implantação de florestas até a década de 80, permitindo que o setor florestal firmasse bases importantes para a economia do país (ABRAF, 2012). A rentabilidade econômica proporcionada pelo governo aos florestadores fez com que a atividade se tornasse mais competitiva do que a agrícola, promovendo grande expansão do setor florestal em todo o país. Em decorrência da rápida expansão, ainda são poucos os estudos realizados a respeito da extração florestal de maneira ambientalmente correta.

O estabelecimento de uma silvicultura ambientalmente adequada exige a adoção de operações de manejo do solo que modifiquem e controlem alguns processos do ciclo hidrológico, minimizando as perdas por erosão hídrica e, ao mesmo tempo, favorecendo o aumento da produtividade da cultura. Sabidamente, em qualquer sistema agro-silvi-pastoril, o preparo do solo é uma das operações mais importantes, pois afeta o

processo hidrológico, a erosão hídrica e a produtividade da cultura. Conseqüentemente, o meio ambiente e o capital investido.

O preparo do solo, na fase de implantação da floresta, visa proporcionar melhores condições para o estabelecimento e desenvolvimento inicial das mudas. O revolvimento da camada superficial tem por objetivo facilitar a captação de água e a disponibilidade de nutrientes às plantas; contudo, quanto mais intenso, mais favorece a perda de solo e de nutrientes por erosão hídrica, podendo comprometer os mananciais de água e reduzir o potencial produtivo do solo, provocando problemas ambientais.

O conhecimento das características do solo e do clima de cada região é imprescindível para a sustentabilidade de qualquer sistema de produção agro-silvi-pastoril. Por isso, muitos trabalhos enfatizam a necessidade de adoção de um método de preparo de solo adequado ao ecossistema local.

Sendo o preparo do solo um fator de grande influência na erosão hídrica pluvial, podendo modificar significativamente o meio ambiente e a produtividade da cultura, verifica-se a necessidade do desenvolvimento de pesquisas específicas consistentes que atendam às necessidades adaptativas do clima e do solo de cada região.

Partindo desta constatação, o presente trabalho vem agregar informações para o aprimoramento de procedimentos operacionais sobre o manejo adequado de solos em áreas de florestas plantadas com características semelhantes no sul do Brasil, tendo como objetivo principal específico: Identificar o efeito do preparo do solo sobre as perdas por erosão hídrica e a produtividade inicial da floresta de *Eucalyptus benthamii* na região do Planalto Serrano de Santa Catarina; e,

Objetivos específicos:

- Quantificar as perdas de água, solo, nutrientes de plantas e carbono orgânico na enxurrada da erosão sob três métodos de preparo do solo;
- Identificar diferença de perdas de solo e de água com a alteração do sentido da subsolagem em relação ao declive;

- Encontrar correlação entre perdas de água e solo com o volume de precipitação ocorrida no período;
- Comparar as perdas de água e solo por erosão hídrica, em cada tratamento, entre as quatro estações do ano;
- Encontrar correlação entre os teores de nutrientes de plantas na enxurrada e os teores encontrados na superfície do solo;
- Quantificar a produtividade de madeira nos dois anos de desenvolvimento da floresta de *Eucalyptus benthamii* em cada tratamento;
- Identificar o sistema de preparo do solo que possibilite o adequado desenvolvimento inicial da floresta de *Eucalyptus benthamii* e não comprometa a conservação do solo.

As hipóteses testadas nesta pesquisa foram:

- O sistema de preparo de solo mais intensivo aumenta as perdas por erosão hídrica;
- As perdas de solo são mais influenciadas pela forma de preparo do solo do que as perdas de água;
- O sentido da subsolagem influencia as perdas por erosão hídrica, sendo maior no sistema em sulcos a favor do declive;
- As perdas de solo e água se relacionam positivamente com o volume de precipitação, independente da forma de plantio;
- A estação do ano com chuvas mais intensas, o verão, provoca maiores perdas de por erosão;
- O teor de nutriente de plantas na enxurrada se relaciona positivamente com o teor de nutriente presente na camada superficial do solo;
- O sistema de preparo mais intensivo do solo favorece o crescimento inicial do *Eucalyptus benthamii*;
- O cultivo em contorno é o tratamento mais indicado por reduzir as perdas de solo e água do sistema.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

#### 2.1.1 Fatores que afetam a erosão hídrica do solo

A erosão hídrica do solo é o processo de desagregação, transporte e deposição de partículas; no caso da erosão hídrica pluvial, o processo é ocasionado por dois agentes da chuva: impacto das gotas e escoamento superficial (ELLISON, 1947), influenciado pela atividade antrópica. Entende-se por atividade antrópica qualquer atividade humana que, de alguma forma, interfira nos mecanismos naturais de funcionamento de uma unidade ecológica.

O impacto das gotas sobre o solo provoca a diminuição da porosidade, compactando a superfície e formando o selamento superficial que, por sua vez, reduz a infiltração de água no solo (DULEY, 1939), aumentando o escoamento superficial e, conseqüentemente, as perdas de água, solo e nutrientes. A erosão hídrica é responsável por efeitos significativos no ambiente natural, como a redução na qualidade química e física, alterando seu equilíbrio dinâmico (BAHIA *et al.*, 1992; FAO, 1989). No momento em que a taxa de infiltração se torna menor do que a intensidade da precipitação inicia-se o armazenamento de água nas depressões existentes na superfície do solo e, após a saturação destas, ocorre o escoamento superficial. O escoamento da água, além de desagregar o solo, ocasiona o transporte de partículas, resultando na deposição (WISCHMEIER e SMITH, 1978), quando a cinesia diminui, segundo Hudson (1995). Estas três fases do processo de erosão hídrica (desagregação, transporte e deposição) podem ocorrer simultaneamente (ELLISON, 1947).

A erosão hídrica do solo é influenciada por diversos fatores, os quais, segundo Wischmeier e Smith (1978), são relacionados ao clima, características intrínsecas do solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas complementares. Dentre as características climáticas, a chuva (quantidade, distribuição e intensidade) é o fator que mais afeta o processo erosivo (HUDSON, 1995). O estudo do comportamento da variável chuva no espaço e no

tempo fornece bases para a realização de um planejamento adequado para a cultura, promovendo a conservação dos solos (BERTOL, 1993).

Os solos diferem muito entre si quanto à erodibilidade. Segundo Wischmeier e Smith (1978), a erodibilidade de um solo corresponde a sua susceptibilidade natural à erosão. Os fatores que mais a influenciam são aqueles que afetam a sua resistência à desagregação, ao transporte e à infiltração de água (WISCHMEIER E SMITH, 1978). A desagregação é afetada pela textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica, teores de alumínio, ferro, cálcio, magnésio e sódio – principalmente pela formação de óxidos –, e quantidade de água no solo. O transporte é afetado pelo tamanho e densidade das partículas desagregadas. A infiltração de água, por sua vez, é afetada pela porosidade e grau de saturação do solo.

A topografia é outro fator que influencia as perdas de solo e de água por erosão hídrica. À medida que aumenta a declividade e/ou o comprimento do declive, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada, diminuindo a infiltração de água no solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), favorecendo o transporte das partículas pela água, e fomentando o poder de desagregação por ação de cisalhamento (COGO *et al.*, 2003), principalmente quando concentrada em sulcos direcionados no sentido do declive do terreno, segundo Wischmeier e Smith (1978).

A cobertura e manejo do solo são os fatores mais importantes na erosão, segundo Hudson (1995). A cobertura por resíduos vegetais é especialmente eficiente já que diminui a erosão ao interceptar as gotas de chuva, dissipando sua energia cinética, o que reduz o grau de desagregação do solo (FOSTER, 1982 e COGO *et al.*, 2003) e reduz também a velocidade de escoamento da água superficial ao funcionar como uma barreira físico-mecânica, dissipando sua energia e diminuindo o transporte de sedimentos (VOLK *et al.*, 2004 e FOSTER, 1982).

A cobertura do solo pelas plantas também é efetiva na redução da erosão, embora menos do que os resíduos vegetais no nível do solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Atua dissipando

a energia da chuva pelas folhas e aumenta a estabilidade do solo pela ação do sistema radicular.

O preparo mecânico intenso do solo provoca alterações em suas características físicas, compactando-o, o que contribui para o aumento da erosão hídrica (AMARAL *et al.*, 2008). Quando essas operações são associadas à retirada da cobertura de resíduos, deixando a superfície descoberta, o processo de desagregação do solo é maior com a disponibilização de sedimentos, em maior quantidade e de maiores diâmetros, que serão transportados pelo escoamento superficial (BERTOL *et al.*, 2010).

A aplicação de práticas conservacionistas de suporte, que são: o preparo e semeadura em contorno, o cultivo em faixas com rotação de culturas e o terraceamento, reduz significativamente a erosão hídrica (WISCHMEIER e SMITH, 1978), pois forma barreiras que reduzem a velocidade e, conseqüentemente, a capacidade de transporte do escoamento (FOSTER, 1982).

Dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo do IAC (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005), mostram que a semeadura em contorno reduz 50% as perdas de solo e 30% as de água, em relação à semeadura na direção da pendente. A efetividade do cultivo em contorno diminui dos solos argilosos para os arenosos; à medida que o comprimento de rampa e a declividade do terreno aumentam; e das culturas mais densas para as menos densas (PIRES e SOUZA, 2003; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). O cultivo em faixas, para as culturas perenes, proporciona um controle de 41% e 17% das perdas de solo e água, respectivamente (RAIJ *et al.*, 1993). O terraceamento agrícola é a prática conservacionista de suporte mais eficaz dentre as três, sendo capaz de armazenar, ou drenar, toda a água de escoamento superficial, retendo os sedimentos resultantes de uma chuva crítica. Além disso, o terraço efetivamente reduz o comprimento do declive.

Como o estudo sobre erosão sob chuva natural necessita de muitos anos de acompanhamento para gerar resultados confiáveis para o local em foco (WISCHMEIER e SMITH, 1978; HUDSON, 1995) e, considerando que, o tipo de solo e o padrão climático variam espacialmente, a extrapolação de resultados obtidos em estudos pontuais para uma área maior deve ser feita

com bastante cuidado. Há, portanto, a necessidade de métodos padronizados de pesquisa que viabilizem a comparação dos resultados em diferentes condições edafoclimáticas (HUDSON, 1995).

### **2.1.2 Efeitos da erosão hídrica no solo**

A erosão mais comum e mais diretamente associada à silvicultura é a erosão hídrica causada pela água da chuva. É considerada o principal fator de degradação e de redução da capacidade produtiva dos solos do planeta, exigindo grandes investimentos financeiros do produtor rural para repor os nutrientes perdidos com a enxurrada (FREITAS e CASTRO, 1983; BERTOL *et al.*, 2007a).

Além de perdas financeiras, as perdas de solo, água e nutrientes provocam prejuízos ambientais, como o assoreamento de mananciais - o acúmulo de partículas do solo nos leitos dos rios e lagos - e sua contaminação com nutrientes e outros elementos químicos, comprometendo a qualidade das águas de superfície (FAVARETTO, 2002; SHARPLEY *et al.*, 1982).

A perda de nutrientes pela erosão hídrica provoca o empobrecimento do solo desde o local onde se origina, causando uma diminuição do potencial produtivo da área erodida e a contaminação da região onde serão depositados, pelo aumento de sua concentração (SCHICK *et al.*, 2000). Segundo Pote *et al.* (1996), o fósforo e o nitrogênio, ao serem erodidos e depositados em excesso nos mananciais, podem contribuir para o processo de eutrofização – gradativa concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos – comprometendo a qualidade da água. O fósforo, principalmente, pode causar sérios problemas, uma vez que funciona como limitante da atividade biológica na maioria dos ambientes aquáticos (SHARPLEY *et al.*, 1987).

Os macronutrientes, adicionados ao solo por meio de adubo, são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, sendo os dois primeiros utilizados em maior quantidade. Juntamente com cálcio, magnésio e carbono orgânico, são particularmente

susceptíveis à erosão hídrica e potenciais fontes de contaminação (ALBERTS et al., 1978).

Há uma relação direta entre o teor de nutrientes presentes nos sedimentos da enxurrada e o teor de nutrientes do solo (FAVARETTO, 2002). Segundo Pote et al. (1996), a frequência e quantidade de adubação aplicada ao solo, associada a um menor revolvimento do mesmo, evitando seu transporte pelo escoamento superficial (SHARPLEY et al., 1991), pode aumentar a qualidade do solo. Segundo Castro (1988), o preparo do solo acelera os níveis de mineralização dos nutrientes contidos nos resíduos florestais e na matéria orgânica, e, quando esta liberação é muito intensa, provoca perdas por erosão. A intensidade do preparo do solo também influencia o aumento do volume escoado, ao facilitar o transporte de partículas de solo, carregando os elementos químicos por elas adsorvidos (RICHARDSON e KING, 1995).

De acordo com Seixas (2002), métodos intensos de preparo podem reduzir a biota do solo, aumentando os riscos de erosão hídrica, o que trará, no longo prazo, danos à floresta plantada, embora possam favorecer o desenvolvimento inicial da cultura, devido a maior disponibilização dos nutrientes em curto prazo (STAPE et al., 2002).

A quantificação de perda de carbono orgânico do solo é considerada bom indicativo para avaliar os danos provocados pelo sistema de manejo, pois o carbono pode representar até 58% da matéria orgânica presente no solo (MENDONÇA e SILVA MATOS, 2005).

A matéria orgânica é uma importante fonte de disponibilidade de água e nutrientes (BARROS e COMERFORD, 2002). Gonçalves (1995) encontrou de 51 a 82% dos nutrientes de resíduos florestais presentes sobre a superfície do solo, na biomassa florestal; solos com elevado teor de matéria orgânica são potencialmente mais produtivos (BARROS E COMERFORD, 2002). Além disso, a presença da matéria orgânica na superfície colabora com a minimização dos processos causadores do escoamento superficial e da erosão (ALISSON, 1973).

## 2.2 SISTEMA DE CULTIVO DO SOLO

### 2.2.1 Efeito do sistema de cultivo do solo na erosão hídrica

O preparo do solo é a principal operação de seu manejo, do ponto de vista da conservação do solo e da erosão hídrica (RANEY e ZING, 1957). A escolha do sistema de cultivo a ser utilizado é efetuada com o propósito de modificar a estrutura do solo, aumentando a armazenagem e disponibilidade de água e nutrientes para as plantas. Na maioria das vezes, há uma relação positiva entre a intensidade de preparo do solo e o ritmo de crescimento das plantas (FINGER et al, 1996; GONÇALVES et al., 2002). A erosão hídrica aumenta com a intensificação do preparo, afetando a produção a longo prazo, podendo levar à ocorrência de relação inversa entre o ritmo de crescimento inicial das plantas e a intensidade do preparo, dentre outras consequências (WICHERT, 2005).

Os métodos de preparo de solo e a forma de plantio utilizados em áreas florestais no Brasil apresentam alta variabilidade. O preparo do solo altera diretamente as propriedades físicas da superfície e subsuperfície do solo, tais como estrutura, densidade e porosidade, as quais têm relação direta com a capacidade de infiltração e retenção de água bem como com a susceptibilidade à erosão (LARSON e GILL, 1973).

Considerando a forma de plantio na área florestal, há três formas comumente utilizadas: plantio em sulcos abertos paralelamente ao declive do terreno; plantio em sulcos abertos na direção transversal ao declive principal; e plantio em covas abertas individualmente para cada planta.

O cultivo mínimo, por ser conservacionista em relação ao preparo convencional, tem sido muito utilizado na exploração florestal nos últimos anos no Brasil (GONÇALVES et. al., 2002; MARTINS et al., 2003; BRITO, 2004; PIRES, 2004; MARTINS, 2005). No entanto, na contra mão das vantagens deste sistema de preparo, utiliza-se rotineiramente na implantação de florestas, o plantio em linhas paralelas ao declive. Pesquisas em área agrícolas demonstram que o plantio em linhas paralelas ao declive, resulta em perdas de solo duas vezes maiores do que o

plântio em contorno (WISCHMEIER e SMITH, 1978; LUCIANO et al., 2009), enquanto preparos conservacionistas apresentam reduções de 50 a 95% nas perdas de solo em relação ao preparo convencional (COGO, 1981; BERTOL, 1995; LEITE, 2003).

Pela importância que o preparo do solo e a forma de plântio apresentam com relação à erosão, o manejo sustentado do solo se torna uma questão estratégica do ponto de vista ambiental e econômico, incluindo a diminuição da intensidade de preparo e a execução do plântio em linhas perpendiculares ao sentido do declive. Gonçalves et al. (2002) afirmam que, de modo geral, as áreas em que se estabelece a maioria das plantações florestais são muito sensíveis à perturbação antrópica. Isto é potencializado pelas condições climáticas extremas (altos índices pluviométricos e térmicos), relevo acidentado, solos quimicamente pobres, baixa biodiversidade dos ecossistemas e emprego de práticas impróprias de manejo do solo.

A forma de preparo com menor revolvimento do solo, permanência do resíduo na superfície, evitando as perdas de partículas (Gonçalves et al., 2002b), proporcionam melhores condições físicas do solo e menor taxa de mineralização da matéria orgânica (RAIJ, 2011), o que favorece a estabilidade dos agregados (BERTOL *et al.*, 2004).

Independente do sistema de plântio de florestas adotado, este não afetará às perdas de água tanto quanto às perdas de solo, pois cada tipo de solo tem uma capacidade máxima de absorção e armazenamento de água. Uma vez atingida essa capacidade máxima, o escoamento também atinge o valor máximo, independentemente da forma como a área foi preparada e manejada (KOHNE, 1968).

A preocupação das empresas do setor florestal em adotar práticas de manejo ambientalmente corretas é crescente. Considerando o solo como um importante componente na produção de madeira, essas práticas garantem a sustentabilidade da produção, afetando, de forma positiva, a produtividade desta cultura (CHAER e TÓTOLA, 2007).

Segundo Wichert (2005) e Baptista (2008), os implementos mais utilizados no cultivo mínimo para plântio florestal são o subsolador (até 40 cm), o escarificador (até 30 cm) e o coveador mecânico, sendo este último utilizado em áreas

com alta declividade ou com obstáculos físicos que impeçam ou dificultem o trabalho do subsolador. Gonçalves et al (2002) afirmam que estes implementos apresentam efeitos variáveis no solo, afetando de forma diferente as perdas por erosão hídrica; a utilização de um mesmo implemento, alterando apenas o sentido da linha de plantio, pode provocar diferentes perdas por erosão.

### **2.2.2 Efeito do sistema de cultivo no crescimento das plantas**

As diferentes operações de manejo aplicadas no solo durante o plantio e estabelecimento de uma cultura devem destinar-se a aumentar a produtividade das plantas, com melhor uso dos recursos naturais do ponto de vista. Essas operações visam melhorar as propriedades físicas do solo, aumentando a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água e de nutrientes às plantas (BARROS e COMERFORD, 2002; GATTO *et al.*, 2003), possibilitando-lhes expressar o seu máximo potencial genético. A operação de preparo mecânico, em geral, promove o afrouxamento do solo na sua camada preparada, diminuindo sua resistência à penetração das raízes e facilitando o desenvolvimento do sistema radicular (FINGER et al 1996 e STAPE et al, 2002), uma vez que as raízes crescem nos espaços porosos do solo. Quando os poros têm diâmetro reduzido, elas encontram resistência, e, se não conseguem exercer pressão suficiente sobre as partículas do solo para aumentar o tamanho do poro, reduzem o diâmetro de suas raízes ao limite dos espaços existentes (RUSSELL, 1977). O manejo do solo preconiza um preparo mecânico que aumente a porosidade por meio da melhoria da sua estrutura, para favorecer o crescimento do sistema radicular e, conseqüentemente, da parte aérea da planta, pois a dimensão do poro no solo é uma característica importante na restrição do seu desenvolvimento, em razão de impedimento mecânico, além da redução na aeração (MITCHELL, 1970).

De acordo com GATTO *et al.* (2003), as florestas plantadas inicialmente eram cultivadas sob preparo convencional, que consistia no intensivo revolvimento da sua

camada superficial, geralmente associada à queima dos resíduos da cultura anterior. Os mesmos autores afirmam que tal prática inicialmente favorecia o desenvolvimento do plantio. Isto se devia ao intenso revolvimento do solo e a queima de resíduos vegetais, que disponibilizava alta concentração dos elementos químicos essenciais à planta, porém a elevada concentração em superfície ocasionava perdas significativas pela enxurrada, prejudicando o desenvolvimento da cultura, ao longo do ciclo, por falta de aporte nutricional.

A utilização do preparo do solo por cultivo mínimo em plantações florestais, iniciada no século XIX, trouxe grandes benefícios para a produtividade da cultura e conservação do solo e da água. Este sistema consiste na redução do volume de solo revolvido, feito somente na linha de plantio, como também mantendo os resíduos culturais sobre a superfície do solo (ZEN et al., 1995). A influência da manutenção dos resíduos vegetais na área de plantio sobre a fertilidade deve ser analisada a longo prazo, principalmente se estes não forem incorporados ao solo, pois apresentam uma decomposição bastante lenta, evitando ou diminuindo suas perdas por erosão.

A matéria vegetal mantida sobre o solo funciona como uma barreira física, protegendo a superfície da incidência direta da radiação solar, reduzindo as variações térmicas, possibilitando a redução da taxa de evaporação e a consequente manutenção da umidade por período mais prolongado após a ocorrência de chuva. Reduz, também, a velocidade de escoamento superficial de água, facilitando a infiltração e o armazenamento na superfície do solo por mais tempo.

A presença de matéria orgânica sobre o solo, além de atuar diretamente na melhoria de sua estrutura física, favorece a proliferação de organismos como anelídeos, por exemplo, que são importantes na formação de canais e de agregados estáveis (VIEIRA, 1985), favorecendo o desenvolvimento da cultura.

No cultivo mínimo, os implementos mais utilizados para o preparo do solo são os subsoladores e os coveadores, mecânicos e manuais, com profundidade de trabalho superior à camada compactada; Abrão et al. (1979) observaram, em seu experimento com plantio direto, uma densidade do solo mais elevada na profundidade de 0-20 cm. Os subsoladores revolvem todo o solo da linha de plantio e atingem profundidades

superiores a 30 cm. Já os coveadores mobilizam apenas o solo no local da cova e não ultrapassam 30 cm de profundidade (WICHERT 2005).

Finger et al. (1996), encontraram efeito positivo na produtividade da espécie *Eucalyptus grandis* até o 3,5 anos de desenvolvimento, em decorrência da utilização da subsolagem no preparo do solo. Corroborando com estes dados, Stape et al. (2002) constataram efeito positivo do preparo do solo com subsolagem até os 12 meses de idade da floresta. O adequado preparo do solo favorece o desenvolvimento das raízes e da parte aérea da cultura, aumentando sua produtividade.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

##### 3.1.1 Localização

A área experimental se localiza na Fazenda Gropp, de propriedade da Empresa Klabin S.A. A área situa-se no município de Otacílio Costa, SC, na região do Planalto da Serra Catarinense. As coordenadas do local são W50°05'14" e S27°33'33" na altitude de 841 m. A Figura 1 mostra a imagem aérea da área experimental, com a disposição das nove unidades experimentais, delineadas em blocos.

Figura 1 – Imagem aérea da área experimental, com destaque à posição e delimitação das parcelas com seus respectivos tratamentos: subsolagem a favor do declive (SFD), subsolagem em contorno ao declive (SCD) e coveamento manual (CM).



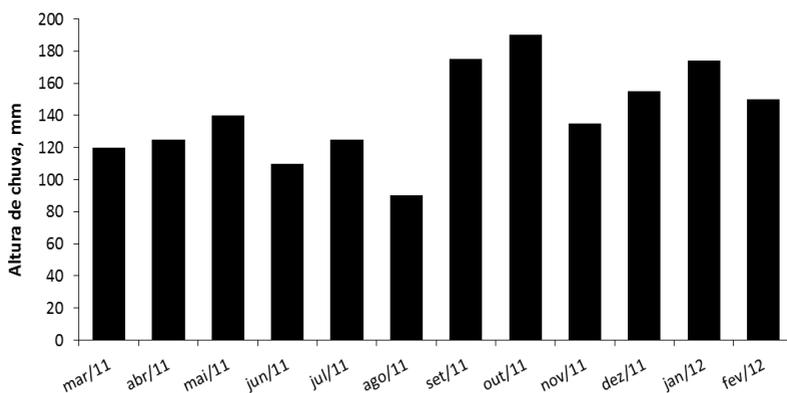
Fonte: Google Earth. 2013, modificado por Juscelia Padilha, 2013.

### 3.1.2 Clima

O clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, com temperatura máxima de 35°C e mínima de -5°C, com geadas frequentes no inverno. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.600 mm (BERTOL et al., 2002), bem distribuída ao longo do ano (ver Figura 2).

O volume de chuva precipitado sobre as parcelas foi obtido por meio dos dados coletados semanalmente em dois pluviômetros instalados em pontos específicos dentro da área experimental, distantes aproximadamente 50 metros um do outro (ver Figura 1).

Figura 2 – Altura de chuva mensal histórica da área experimental.



Fonte: Produção da própria autora.

### 3.1.3 Solo

O município de Otacílio Costa está situado na formação geológica do grupo “Passa Dois”, do Paleozóico do período Permiano, ocorrendo a formação Rio do Rastro, Terezina e Serra Alta, com material composto de depósitos marinhos representados por alternância de argilitos, folhelhos, siltitos e

arenitos (ATLAS, 1986). A topografia local se caracteriza por relevo suave ondulado a ondulado.

O solo na área experimental foi classificado em março de 2011 como Cambissolo Háplico alítico latossólico, classificação realizada por Raphael David dos Santos, técnico da Embrapa, através da caracterização do perfil do solo, em trincheira aberta ao lado da área experimental.

O relevo na área experimental apresenta uma declividade média de 14,8% em uma encosta com cerca de 50 m de comprimento de rampa, com exposição face norte. Nas unidades experimentais, a declividade média encontrada, para o comprimento de rampa de 24 metros, foi de 16,3%, variando de 14% a 18%.

A caracterização química e a textura do solo (franco-argiloso), realizada em amostras de solo coletadas dentro da área experimental, antes da implantação do experimento podem ser observados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização química e textura da área experimental

Profundidade	pH	P	K	MO	Al	Ca	Mg	Al+H
cm		..mg dm <sup>-3</sup> ..			.....cmolc dm <sup>-3</sup> .....			
0-20	3,8	3,2	31	4,7	7,6	1,1	0,8	49,0
20-40	4,0	3,9	21,1	3,7	7,1	1,0	0,7	46,3

Fonte: Magro, 2012.

Tabela 2. Caracterização da textura da área experimental

Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte
.....g Kg <sup>-1</sup> .....			
340	189	234	237
345	246	184	225

Fonte: Magro, 2012.

### 3.1.4 Histórico de uso e manejo da área experimental

As unidades experimentais foram instaladas em 2009, com plantio realizado em janeiro de 2010. O primeiro ano de desenvolvimento da cultura foi objetivo de estudo do projeto de mestrado de Bruno Afonso Magro no curso de Mestrado em Ciências Florestais – UFPR. No presente trabalho compreende o período entre o segundo e o terceiro ano de condução deste experimento.

A vegetação original da área faz parte do bioma Mata Atlântica, caracterizando-se como Floresta Ombrófila Mista, já substituída décadas passadas por diferentes usos agropecuários, porém ainda apresentando fragmentos, principalmente na proximidade de cursos d'água e do Rio Canoas, distante cerca de 500 metros da área experimental.

Na área experimental havia florestal da espécie *Pinus taeda* há dois ciclos, sendo o primeiro deles implantado em 1962 e colhido em 1987 (colheita realizada de forma semi-mecanizada) e o segundo plantado em 1987 e colhido em 2009 (colheita mecanizada), ambos com plantio de espécie *Pinus taeda*. A distância das plantas de *Pinus taeda* era de 2,5 m entre linhas e 2,5 m entre plantas, nos dois cultivos. Os resíduos vegetais da colheita de ambos os ciclos, foram mantidos sobre a superfície do solo, de forma uniforme entre todas as unidades experimentais, sendo retiradas todas as peças do resíduo com diâmetro maior que 8 cm; critério definido em razão de ser este o menor diâmetro de galhos aceito para a fabricação de cavacos utilizados na fábrica de papel.

Ainda antes da instalação dos tratamentos (atividades realizada por Magro em 2010), coletaram-se amostras do solo para posterior análise física e química. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, (ver Tabelas 1 e 2). Após a coleta das amostras de solo, aplicou-se calcário na quantidade de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, incorporado por meio de operações de arado e grade.

O cálculo da porcentagem da área coberta por resíduos em cada tratamento foi realizado por meio da mensuração das faixas que ficaram sem cobertura, e por subtração destas em

relação à área total, teve-se a área com cobertura de solo. Foi considerada como superfície coberta toda a área onde não houve influência dos implementos e equipamentos de limpeza e preparo de solo. Desta forma os sistemas SFD e SCD demonstraram cobertura por resíduos em 74% da área, enquanto o CM 92%.

A etapa de campo e de laboratório, portanto, da presente pesquisa foi conduzida entre março de 2011 e fevereiro de 2012, durante o segundo e terceiro ano de desenvolvimento da cultura.

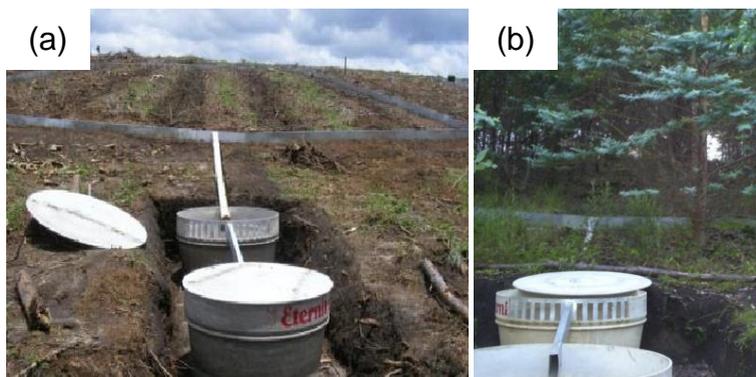
### 3.2 UNIDADE EXPERIMENTAL: DIMENSÕES E PREPARO

A unidade experimental, ou parcela, foi instalada com dimensões de 12 x 24 m, com o maior comprimento no sentido do declive, apresentando uma área total de 288 m<sup>2</sup>. Para a delimitação no contorno das parcelas, utilizaram-se chapas galvanizadas de 0,40 m de altura, sendo que destes, 0,20 m foram enterrados e 0,20 m permaneceram acima do nível do solo. Na base inferior das parcelas foram utilizadas chapas de 0,60 m de altura, onde 0,40 m ficaram enterradas e 0,20 m ficaram acima, posicionadas de forma a direcionar todo o escoamento da parcela para os tanques coletores de enxurrada, na parte mais baixa do declive. As nove parcelas foram dispostas lado a lado. Esta etapa foi realizada por Magro (2012) na instalação do experimento.

Os dois tanques coletores de cada parcela são de fibrocimento com capacidade de 400 e 500 litros. O primeiro tanque, 400L, apresenta janelas divisórias tipo Geibb com 13 saídas, as quais ficam na parte superior do tanque, direcionando 1/13 da enxurrada para o segundo tanque. Este excedente de 1/13 dos 400L/parcela do volume da enxurrada é conduzido por um tubo galvanizado até o segundo tanque coletor, 500L (ver Figura 3).

No primeiro tanque, fica armazenada a água da enxurrada cujos sedimentos depositados apresentam maior diâmetro e/ou mais densos. Já o segundo tanque se destina a armazenar a água e os sedimentos de menor diâmetro e/ou menos densos.

Figura 3 - Implantação do experimento à campo, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico, em Otacílio Costa, SC (a); tanques coletores de enxurrada e divisor tipo Geibb, após 24 meses da implantação do experimento (b).



Fonte: (a) Magro (2012); (b) Produção da própria autora.

O Plantio da área foi realizado em janeiro de 2010, com mudas de *Eucalyptus benthamii*, na densidade de 1.600 mudas por hectare, apresentando 45 mudas por parcela.

As adubações, realizadas por Magro (2012), foram feitas das seguintes formas: adubação de base foi aplicada no dia posterior ao plantio, a qual constou da aplicação de 150g do adubo N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 06-30-06 em cada muda, sendo esta dose dividida e aplicada na forma de duas covetas laterais com 75 g cada uma. As covetas foram feitas a 10 cm de distância da muda, em lados opostos, ficando o adubo concentrado nestas duas porções a cerca de 3 cm abaixo da superfície do solo e em uma coluna de aproximadamente 8 cm de profundidade. O adubo aplicado nesta fertilização foi de 240 kg ha<sup>-1</sup>, equivalendo a 14,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia, 72 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo e 14,4 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio. A primeira adubação de cobertura ocorreu no dia 01 de abril, composta pela aplicação de 200 g do adubo N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 10-05-20 por muda, totalizando 320 kg ha<sup>-1</sup> aplicados, sendo estes distribuídos na projeção da copa e sem incorporação, representando 32 kg ha<sup>-1</sup> de N, 16 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

e 64 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A segunda adubação de cobertura, que foi realizada em 27 de outubro, foi idêntica à fertilização anterior, composta pela mesma quantidade, forma de aplicação e formulação do adubo. Assim, no primeiro ano de cultivo (2010) foram adicionados, no total, 78,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, 104 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 142 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para fertilização.

Durante o primeiro ano de desenvolvimento da cultura, foram também realizadas três aplicações de herbicida para evitar a mato-competição. A primeira delas foi com pré-emergente FORDOR WD (3 dias após o plantio), realizada em linha. As aplicações seguintes foram com herbicida pós-emergente SCOUT, aplicadas em toda a área na dosagem de 1,5 kg de produto por hectare. As demais aplicações realizadas seguiram a mesma metodologia e dosagem da primeira, sendo estas nos meses de abril e outubro de 2010.

### 3.3 TRATAMENTOS ESTUDADOS

Os três principais métodos de preparo de solo utilizados na região para implantação florestal foram testados, consistindo eles em duas variações da subsolagem mecanizada e uma forma de preparo manual. Todos foram realizados sob cultivo mínimo; somente foi realizada a retirada da cobertura de resíduos nas linhas de subsolagem ou local de realização das covas. Os três tratamentos foram distribuídos em três blocos - em cada bloco, os mesmos foram distribuídos ao acaso, que foram assim denominados:

- (I) Preparo com subsolagem a favor do declive (SFD);
- (II) Preparo com subsolagem em contorno ao declive (SCD);
- (III) Preparo do solo por coveamento manual (CM).

Tratamento I. Plantio de *Eucalyptus benthamii* em sulcos abertos com subsolador no sentido paralelo ao declive do terreno (SFD); os sulcos foram abertos em distâncias de 2,5 m um dos outros, perfazendo 5 sulcos por parcela. O plantio das mudas fez-se a distância de 2,5 m uma das outras. Assim, 45 mudas foram plantadas em cada parcela deste tratamento.

Tratamento II. Plantio de *Eucalyptus benthamii* em sulcos abertos com subsolador no sentido de contorno ao declive do terreno (SCD); os sulcos foram abertos em distâncias de 2,5 m um dos outros, perfazendo 9 sulcos por parcela. O plantio das

mudas fez-se a distância de 2,5 m uma das outras. Assim, 45 mudas foram plantadas em cada parcela deste tratamento.

Tratamento III. Plantio de *Eucalyptus benthamii* em coveamento manual (**CM**); foram abertas covas com dimensões de 0,30 x 0,30 x 0,30 m de forma manual feitas com picareta, à distância de 2,5 m x 2,5 m, totalizando 45 mudas plantadas em cada parcela deste tratamento.

Os tratamentos SFD e SCD foram realizados em sulcos abertos com trator de esteiras modelo Komatsu D-61ex, de 170 HP, provido de implemento subsolador "Ripper" com hastes duplas de 1 m de comprimento e distância de 2,5 m cada uma, definindo, com esta distância, o espaçamento entrelinhas. Cada haste subsoladora é combinada com quatro discos dentados de 26 polegadas. A profundidade média de trabalho do subsolador é de 0,45 m com rompimento lateral de 0,30 m para cada lado da haste.

Antes do início das atividades de preparo de solo, foi realizada aplicação de calcário dolomítico (PRNT >75) na quantidade de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, o qual foi distribuído sobre os resíduos culturais por trator agrícola com distribuidor acoplado. Esta atividade foi realizada um mês antes da subsolagem (em 2009, antes do plantio) e objetivou aumentar os teores de Ca e Mg do solo.

No momento da subsolagem, ocorreu simultaneamente aplicação de fosfato natural de rocha Arad (32% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total, 11% solúvel), o qual foi incorporado ao solo no sulco de subsolagem em forma de filete contínuo por sistema acoplado ao subsolador, a uma profundidade de 0,25 m, e na quantidade de 200 kg ha<sup>-1</sup>. No coveamento manual, o mesmo fosfato foi adicionado manualmente no momento da abertura das covas na quantidade de 125 g cada uma, sofrendo leve incorporação no solo, também com picareta.

### 3.4 DETERMINAÇÕES REALIZADAS NESTE TRABALHO

#### 3.4.1 Análise física e química entre 0 e 40cm de profundidade

Inicialmente, fez-se uma coleta de amostras do solo, deformadas - para determinar a estabilidade de agregados em água - e amostras de solo não deformadas, em anéis de aço para determinação da densidade e porosidade do solo.

As amostras foram coletadas em um único ponto por parcela, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; e 20-40 cm, na área correspondente a região da entre-linha de plantio, para evitar a influencia direta do preparo do solo nos resultados. Esta coleta foi realizada em dois momentos, sendo o primeiro no início desta pesquisa (fev/2011) e o segundo no final desta (mar/2012).

A estabilidade de agregados foi feita por balanceamento a úmido, pelo método clássico e original descrito por Yoder (1936).

A densidade do solo foi determinada pelo método descrito em Forsythe (1975).

A porosidade foi calculada de forma total e foram identificados os volumes de macro e microporos. A porosidade total foi avaliada de acordo com CAMARGO et al. (1986) com amostras indeformadas de solo, saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel. A porosidade total foi calculada como o conteúdo de água do solo saturado. Após a saturação, as amostras foram pesadas e colocadas em mesa de tensão equivalente a uma coluna de água de 60 cm de altura. Após a retirada parcial da água, as amostras foram pesadas e levadas para secagem em estufa a 105 °C por 48 horas e novamente pesadas (EMBRAPA, 1997).

O volume de microporos foi calculado pelo volume de água extraído da amostra após estufa a 105 °C, com relação ao teor contido após submetido a mesa de tensão. O volume de macroporos foi estimado pela diferença entre a Porosidade total e a microporosidade da amostra de solo.

Na mesma amostragem de coleta de solo para análise física, coletaram-se também deformadas, em que se determinou o pH em água (1:1), o teor de C orgânico e os teores de P disponível, K, Ca, Mg e Al trocáveis, pelos métodos analíticos descritos em Tedesco et al. (1995).

### 3.4.2 Perdas de água e solo por erosão hídrica

A quantificação da enxurrada foi feita por meio de mensuração semanal do volume presente nos tanques coletores, sempre que ocorriam chuvas erosivas, conceituadas por Wischmeier & Smith (1978). A altura da lâmina de enxurrada, armazenada em cada tanque, foi medida com o auxílio de uma régua graduada previamente calibrada, introduzida no tanque, a partir de qual se obteve o volume de enxurrada. No caso do segundo tanque, o volume de enxurrada total foi obtido multiplicando por 13 o volume nele medido, procedimento possibilitado devido à existência do divisor “Geibb” com 13 janelas. As perdas mensais e anuais de água por escoamento foram obtidas pela soma dos escoamentos semanais mensurados nas caixas coletoras de cada tratamento.

As amostras de escoamento (água mais sedimentos) para determinação das perdas de solo foram coletadas semanalmente, no período de março de 2011 a fevereiro de 2012, totalizando 39 coletas durante 12 meses.

Para a coleta das amostras, utilizou-se o procedimento proposto por Cogo (1978), que consiste na homogeneização de toda água e sedimentos contidos nas caixas com a simultânea retirada de três amostras de 300 ml cada uma. Duas amostras foram utilizadas para quantificação do solo e a outra para quantificação dos nutrientes nelas contidos.

A metodologia para determinação da concentração de sedimentos consistiu na pesagem da enxurrada, que depois foi deixada em repouso. Após decantação dos sedimentos, o excesso de água foi sifonado e o frasco com o material restante foi seco em estufa a 50 °C, até evaporação de toda água, quando foi novamente pesado. Com base na multiplicação do peso dos sedimentos secos contidos no frasco pela quantidade de escoamento, foi possível calcular as perdas de solo de cada coleta. As perdas totais de sedimentos (perdas de solo) foram obtidas por soma das perdas semanais durante um ano.

Devido à variação de declividade entre as parcelas experimentais, os dados de perdas de solo observados foram

ajustados para o declive médio de cada uma delas, utilizando-se o procedimento recomendado por Wischmeier e Smith (1978) pela seguinte expressão:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \theta + 65,41 (\operatorname{sen} \theta)^2$$

Em que:

$\theta$  = o ângulo do declive.

### 3.4.3 Análise química na superfície do solo

Foram coletadas amostras do solo deformadas para análises químicas na camada superficial das unidades amostrais (0-3 cm). As amostras foram coletadas em cinco momentos, fevereiro, maio, agosto e novembro de 2011 e março de 2012. Foram coletadas em seis posições em cada parcela: dois metros abaixo da extremidade superior; na posição intermediária; e, dois metros acima da extremidade inferior. Em cada posição, coletou-se uma amostra na linha de plantio/sob a projeção da copa e, outra, na entre-linha de plantio, e nelas foram determinados o valor do pH em água (1:1), o teor de C orgânico e os teores de P disponível, K, Ca, Mg e Al trocáveis, conforme Tedesco et al. (1995).

### 3.4.4 Perdas de nutrientes por erosão hídrica

A avaliação das perdas de nutrientes fez-se para quatro períodos (trimestre), referentes às quatro estações do ano, resultantes da mistura das amostras de água da enxurrada coletadas de eventos ocorridos nesses intervalos de tempo. Esta mistura foi proporcional à porcentagem que cada amostra representava na perda total de água para o trimestre.

As amostras foram armazenadas em geladeira, com temperatura de 2°C, até a finalização das coletas trimestrais, quando então foi composta uma única amostra no trimestre para cada parcela, onde foram estimados os teores dos nutrientes na forma solúvel. Os teores de K, Ca e Mg trocáveis foram obtidos por espectrometria de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP-OES); o teor de P solúvel foi determinado pelo método do ácido ascórbico.

Todas as análises referentes a quantificação de elementos químicos contidos na água de enxurrada foram realizadas pelo laboratório de análises químicas, QUIMIOTER, em Campos Novos, SC.

As perdas dos nutrientes na água da enxurrada foram obtidas multiplicando-se a concentração de cada elemento na amostra trimestral de água, pela quantidade de água escoada no período, sendo que as perdas totais acumuladas no ano foram obtidas pela soma das perdas trimestrais.

### 3.4.5 Desenvolvimento inicial da floresta

Aos 24 meses de idade, em janeiro de 2012, realizou-se medições de DAP (diâmetro a altura do peito) e altura das plantas vivas dentro de cada unidade amostral, com as quais se calculou algumas variáveis, como taxa de sobrevivência (S), área basal individual das plantas (g), área basal por hectare (G), volume de madeira por hectare (V) e Incremento médio de madeira na idade de medição (IMIM).

A porcentagem de sobrevivência de plantas foi determinada com base na contagem das plantas vivas, estabelecendo-se uma proporção em relação ao número total de plantas esperadas na área útil da unidade experimental, conforme segue:

$$S = (n_i / n_e) * 100$$

Em que:

S = Taxa de sobrevivência (%);

$n_i$  = Número de árvores medidas;

$n_e$  = Número de árvores esperadas.

A área basal individual e por hectare foi calculada em função do DAP das árvores aos 24 meses de idade:

$$g_i = (\pi d_i^2) / 4$$

$$g_m = (g_p) / n_i$$

$$G = g_m * N$$

Em que:

$g_i$  = Área basal individual ( $m^2$ );

$d_i$  = Diâmetro médio à altura do peito (DAP) (m);

$g_m$  = Área basal média da unidade experimental ( $m^2$ );

$g_p$  = Somatório das áreas basais da unidade experimental ( $m^2$ );

$n_i$  = Número de árvores medidas na unidade experimental;

$G$  = Área basal por hectare ( $m^2 \text{ ha}^{-1}$ );

$N$  = Número de árvores por hectare.

O Volume de madeira por hectare foi calculado em função da área basal por hectare e altura média da floresta:

$$V = G * h$$

Em que:

$V$  = volume de madeira por hectare ( $m^3 \text{ ha}^{-1}$ );

$h$  = altura média dos indivíduos amostrados (m).

O Incremento médio de madeira na idade de medição foi calculado em função do volume de madeira por hectare em relação a idade da floresta:

$$IMIM = V/i$$

Em que:

$i$  = idade da floresta no momento da medição (anos).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para avaliar o efeito dos tratamentos e obter uma estimativa da variância residual, foi feita análise de variância dos dados, com a posterior aplicação do teste de Duncan a 5% de probabilidade para a comparação de médias, considerando, para ensaio, delineamento em blocos ao acaso com três repetições.

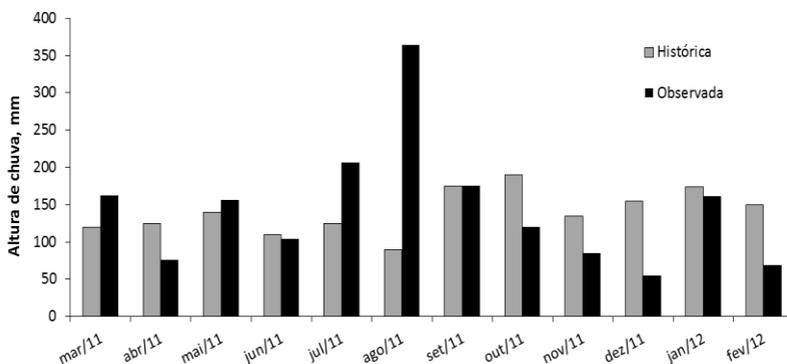
Os resultados obtidos durante o segundo e terceiro ano de desenvolvimento do *Eucalyptus benthamii* foram analisados pelo software ASSISTAT, onde se realizou o teste Duncan a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

O volume de chuva precipitado durante o período experimental foi de 1733 mm, representando 133 mm além do valor médio anual para a área experimental. Na Figura 4, pode-se observar a maior concentração de chuva no período que compreende o inverno, sendo uma situação atípica para a região.

Figura 4. Altura de chuva mensal histórica da área experimental e observada durante o período da pesquisa.



Fonte: Produção da própria autora.

### 4.2 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

#### 4.2.1 Densidade e porosidade do solo

Os resultados da análise deste estudo, para o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus benthamii*, em densidade e porosidade do solo, estão dispostos nas Tabelas 3, 4 e 5. Os valores representam a média dos blocos (repetições) em cada tratamento, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

Com relação à densidade do solo, na (ver Tabela 3) estão dispostos os valores encontrados para os anos de 2011 e 2012, em quatro profundidades do solo nos três tratamentos.

Tabela 3. Densidade do solo em 2011 e 2012, em quatro profundidades do solo, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média de três repetições).

Profundidade cm	SFD .....g cm <sup>-3</sup> .....	SCD	CM	*CV %
2011				
0 – 5	1,12bA	1,14 bA	1,18 bA	4,12
5 – 10	1,23 bB	1,24 aB	1,33 aA	3,47
10 – 20	1,37 aA	1,23 aB	1,32 aA	3,90
20 – 40	1,37 aA	1,25aB	1,38 aA	7,61
Média	1,27 A	1,22 B	1,30 A	4,03
CV (%)	4,09	3,88	2,13	
2012				
0 – 5	1,37 aA	1,26 bB	1,31 bA	3,06
5 – 10	1,39 aA	1,23 bA	1,30 bA	18,10
10 – 20	1,37 aA	1,32 aA	1,35 bA	5,78
20 – 40	1,35 aA	1,36 aA	1,43 aA	8,65
Média	1,37 A	1,29 A	1,35 A	7,45
*CV (%)	8,47	14,22	5,35	

\* Coeficiente de Variação , CV. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%. Letras minúsculas comparam valores entre as camadas e, maiúsculas, valores entre os tratamentos.

Fonte: Produção da própria autora.

Comparando a densidade do solo entre os tratamentos (ver Tabela 3), no ano de 2011, não houve diferença significativa na profundidade de 0-5 cm, e de 5-10 cm o CM apresentou maior densidade do solo, com relação aso demais que não diferiram estatisticamente entre si. Nas maiores profundidades de (10-20 e 20-40 cm), PM e SFD apresentaram maior densidade com relação ao SCD. Observou-se, ainda, que a densidade média do

solo nestes tratamentos também foi maior que a densidade média do solo no SFD.

Entre as profundidades, CM e SCD apresentaram o mesmo comportamento, em que apenas a camada mais superficial tem, estatisticamente, menor densidade que as demais. No SFD, as duas menores profundidades (0-5 cm e 5-10 cm) não diferiram entre si e apresentaram menor densidade com relação às mais profundas (10-20 e 20-40 cm). Independente do tratamento é possível perceber que o aumento da densidade se dá com o aumento da profundidade do solo.

Para o ano de 2012, a diferença entre tratamentos, nesta segunda amostra, foi menor do que na primeira, apresentando diferença significativa apenas para a profundidade de 0-5 cm, sendo menor no tratamento SCD, em relação ao SFD e CM, que não diferiram entre si. Nas demais profundidades, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Assim como também, entre a média das profundidades de cada tratamento. O que confirma o fato de que o solo tem tendência de retornar ao seu estado natural ao longo do tempo, se não sofrer intervenção mecânica por meio de preparo.

Entre as camadas, o SFD não apresentou diferença, o SCD apresentou menores densidades nas duas menores profundidades, que não diferiram entre si, em relação às duas maiores profundidades, que também não diferiram entre si. No CM a maior profundidade apresentou maior densidade com relação às demais, que não diferiram entre si.

Observando os valores de densidade do solo, nos dois anos amostrados, no intervalo de 12 meses, percebe-se um leve aumento (ver Tabela 3). Porém, esta maior densidade do solo pode não representar prejuízos ao crescimento da cultura, pois não ultrapassou os limites de impedimento do crescimento das raízes, e ainda pode ter contribuído com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga, segundo sugerem REICHERT et al. (2009).

Os valores de densidade encontrados neste estudo variaram entre 1,12 e 1,43 g cm<sup>-3</sup> (ver Tabela 3), o que está dentro dos limites encontrados por Torres & Saraiva (1999), em solos argilosos em área de mata, de 1,0 a 1,45 g cm<sup>-3</sup>. Apesar do

SFD e CM terem apresentados valores de densidade do solo maiores que o SCD, na média, estes não ultrapassam o valor de  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ , considerado, por Camargo e Alleoni (1997), crítico ao desenvolvimento da cultura para solos franco-argilosos.

O comportamento da porosidade do solo nos três tratamentos, porosidade total e macroporosidade, obtidos em um único ponto por unidade experimental, estão tabelados, para os anos de 2011 e 2012 (ver Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Porosidade total do solo em 2011 e 2012, em diferentes profundidades do solo, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média dos três blocos).

Profundidade cm	SFD	SCD .....%.....	CM	*CV
2011				
0 – 5	62,16aA	59,39aA	61,39aA	7,04
5 – 10	59,35aA	57,13aA	55,90aA	14,11
10 – 20	53,60bA	54,67bA	55,09aA	4,09
20 – 40	53,29bA	54,88bA	52,68aA	5,21
Média	57,10 <sup>a</sup>	56,52A	56,26A	3,66
CV (%)	2,85	2,43	6,10	
2012				
0 – 5	65,56aA	65,53aA	61,16aB	6,27
5 – 10	62,01aB	66,59aA	58,17aA	11,12
10 – 20	57,13bA	57,02bA	55,30aB	4,34
20 – 40	56,41bA	56,34bA	55,5aA	6,19
Média	60,28 <sup>a</sup>	61,37A	57,54B	4,03
*CV (%)	4,25	2,90	7,13	

\* Coeficiente de Variação, CV. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%. Letras minúsculas comparam valores entre as camadas e, maiúsculas, valores entre os tratamentos.

Fonte: Produção da própria autora.

No ano de 2011, o valor da porosidade total do solo não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, nas profundidades, e também na média das destas.

Em profundidade, o CM não apresentou diferença, e os tratamentos SFD e SCD tiveram mesmo comportamento, com maior porosidade total em nas duas menores profundidades de 0-5 e 5-10 cm, as quais não diferiram entre si, com relação as duas camadas mais profundas de 10-20 cm e 20-40 cm (ver Tabela 3).

Os valores da porosidade total entre camadas, em 2011, apresentaram uma tendência em diminuir com o aumento da profundidade, porém, a diferença significativa apresentou-se apenas nos tratamentos que sofreram revolvimento mecânico do solo. O que pode ser atribuído ao revolvimento da camada superficial realizado nestes tratamentos no momento do plantio.

Em 2012, um ano após a primeira coleta, a porosidade total foi maior nos tratamentos SFD e SCD do que no CM, nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, os quais não diferiram entre si, assim como também na média das camadas (ver Tabela 3). Nas demais profundidades não houve diferença significativa da porosidade total entre os tratamentos.

Dentre os três tratamentos, percebeu-se uma melhor estruturação do solo nos tratamentos SFD e SCD, com relação à porosidade total, que, nessas condições, contribuiria mais positivamente para o desenvolvimento das raízes da cultura, visto que, segundo Grohman (1972), são nestes espaços porosos do solo que se processam os principais fenômenos reguladores do crescimento e da produção vegetal.

Tabela 5. Macroporosidade do solo em 2011 e 2012, em diferentes profundidades do solo, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média dos três blocos).

Profundidade	SFD	SCD	CM	*CV
Cm		.....%.....		
2011				
0 – 5	13,68aA	12,54aA	8,61aB	4,54
5 – 10	9,40aB	12,20aA	7,03aB	3,03
10 – 20	5,29bB	9,17bA	6,01aB	7,21
20 – 40	4,33bB	8,78bA	5,69aB	5,26
Média	8,18B	10,67A	6,83B	3,47
CV (%)	5,23	2,41	13,10	
2012				
0 – 5	16,12aA	19,00aA	12,61aA	17,27
5 – 10	12,39aB	17,14aA	10,02aB	9,12
10 – 20	7,23bA	7,50bA	6,71bA	5,34
20 – 40	6,07bA	6,62bA	5,75bA	6,19
Média	10,45A	12,57A	8,77A	4,03
*CV (%)	8,09	3,90	4,33	

\* Coeficiente de Variação , CV. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%. Letras minúsculas comparam valores entre as camadas e, maiúsculas, valores entre os tratamentos.

Fonte: Produção da própria autora.

Observando os dados de 2011, nos tratamentos em que foram abertos sulcos no solo para a realização do plantio (SFD e SCF), percebe-se maior macroporosidade (ver Tabela 5) do que no CM, na camada superior, de 0-5 cm. Nas demais profundidades, assim como na média destas, o SCD apresentou maior macroporosidade em relação aos demais, não aparecendo diferença significativa entre o PM, que não sofreu revolvimento do solo e o SFD.

Em profundidade os tratamentos SFD e SCD apresentaram mesmo comportamento, com maior macroporosidade nas duas camadas superficiais, as quais não

diferiram entre si, com relação as duas camadas mais profundas, as quais também não apresentaram diferenças estatísticas. No PM não houve diferença entre as profundidades. Provavelmente, este comportamento se deve ao maior revolvimento do solo realizado naqueles tratamentos, por meio do subsolador, o que não ocorreu no CM.

Os valores de macroporosidade mais elevados nos horizontes superficiais corroboram com os dados de Farias (1981) e Embrapa (1991), que afirmam que a macroporosidade é decorrente do conteúdo de matéria orgânica e da fração areia.

Segundo Douglas (1986) e Carter (1988), os valores de macroporosidade revelam-se como parâmetros muito úteis na avaliação das modificações estruturais do solo. Pelos dados apresentados, no ano de 2011, o tratamento SCD deve ter favorecido o crescimento inicial das raízes devido a maior macroporosidade apresentada, e os tratamentos SFD e CM, apresentando macroporosidade menor que 10%, deve ter limitado o desenvolvimento e proliferação das raízes, segundo o que argumentam BAYER et al. (1972).

Nos dados de 2012, observou-se que a diferença de macroporosidade que havia entre os tratamentos nas camadas de 0-5, 10-20 e 20-40 cm, não mais ocorreram, e que a diferença entre as camadas se manteve nos tratamentos SFD e SFC, aparecendo também o mesmo comportamento para CM, o que não havia no ano anterior.

Nesta segunda coleta de dados, observou-se o aumento da macroporosidade, em todas as profundidades, com exceção das duas camadas mais profundas no SCD (ver Tabela 5). Este aumento da macroporosidade no solo pode ser atribuído à ação descompactante das raízes desta cultura.

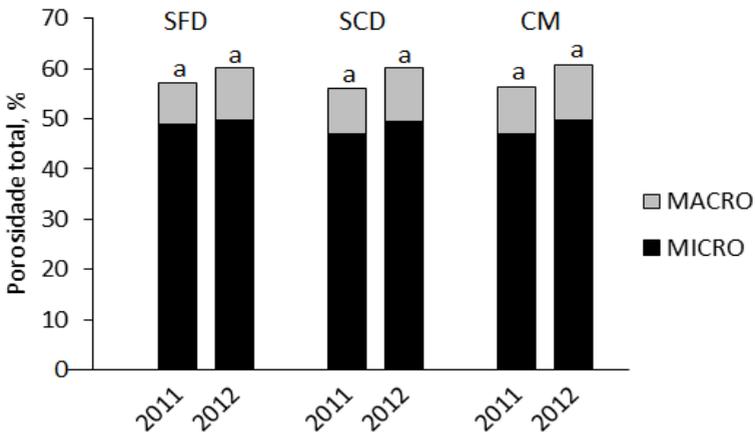
Na média das camadas, os tratamentos não apresentaram diferença significativa neste ano. A menor variação de macroporosidade entre os tratamentos no segundo ano de desenvolvimento da cultura corrobora com os dados encontrados por Corsini (1988), em que os efeitos das operações de preparo, nas camadas mais superficiais do solo, ocorreram por curto período de tempo.

Os dados de macroporosidade calculados apresentaram valores baixos, considerando o valor de densidade e Pt, obtidos para as mesmas profundidades e pontos de coleta. Vale ressaltar que a amostragem em único ponto na unidade experimental pode não ser representativa da qualidade deste solo.

A interpretação de resultados de porosidade do solo, em sistemas de manejo em que o solo foi preparado sob cultivo mínimo deve ser feita com cuidado. O histórico do manejo, bem como outras propriedades de textura e quantidade de matéria orgânica, além do tempo de exposição do solo a determinado tipo de manejo, influenciam os resultados. Desta forma, é aconselhável a realização de estudos em áreas de cultivo por períodos longos, com cultivo mínimo para floresta, assim como ocorre com as áreas agrícolas.

Um comparativo entre 2011 e 2012, para os resultados de porosidade total, macro e microporosidade são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Porosidade total, com identificação da micro e macroporosidade do solo, em 2011 e 2012, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média de três repetições e das quatro profundidades do solo).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Produção da própria autora.

A porosidade total apresentou um leve aumento no período de um ano, de 2011 para 2012, nos três tratamentos, em termos numéricos, porém sem diferença significativa entre estes (ver Figura 5).

O aumento do espaço poroso do solo, atribuído, principalmente, ao valor da macroporosidade pode ter ocorrido em consequência da ação positiva da floresta de eucalipto sobre os atributos físicos do solo, corroborando com Lima (1996).

Os plantios florestais com eucalipto são responsáveis por melhorias nas condições do solo, principalmente no que se refere à matéria orgânica e a atividade microbiológica, afirma Lima (1996) o que, conseqüentemente, beneficia as propriedades físicas do solo, por promover maior macro-agregação em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais.

#### 4.2.2 Estabilidade de agregados em água

O resultado da análise de estabilidade de agregados em quatro profundidades no ano de 2012 é apresentado conforme abaixo (ver Tabela 6).

Tabela 6. Diâmetro médio ponderado de agregados do solo relativo em 2012, em diferentes profundidades do solo, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média dos três blocos).

Profundidade	SFD	SCD	PM	*CV
cm	.....mm.....			%
0 – 5	5,01 aB	5,41 aA	5,53 aA	2,12
5 – 10	5,59 aA	3,52 bB	3,65 bB	3,45
10 – 20	3,63 bA	4,56 bA	3,96 bA	5,27
20 – 40	4,14 bA	4,21 bA	4,52 bA	2,16
<i>Média</i>	4,59 A	4,43 A	4,41 A	4,91
*CV (%)	3,75	2,98	2,85	

\* Coeficiente de Variação, CV. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%. Letras minúsculas comparam valores entre as camadas e, maiúsculas, valores entre os tratamentos.

Fonte: Produção da própria autora.

Comparando os três tratamentos, observa-se um comportamento similar entre os tratamentos SCD e CM, com maior valor de diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) nestes em relação ao tratamento SFD, na camada de 0–5 cm, e valor menor na camada de 5–10 cm (ver Tabela 6).

Em maiores profundidades, assim como na média destas, não houve diferença significativa entre os três tratamentos. Percebe-se que as mais superficiais apresentaram maior DMP. No tratamento SFD, houve diferença estatística nas profundidades de 0 – 5 cm e 5 – 10 cm, enquanto, no SCD e CM, a única profundidade que diferiu significativamente das demais, com maior DMP, foi a de 0 – 5 cm.

Ao analisar as profundidades, independente do tratamento, a de 0–5 cm apresentou maior DMP, estatisticamente, do que as demais, o que pode ser atribuído, entre outros fatores, ao conteúdo de material vegetal que serviu de fonte de energia para a atividade microbiana, atuando como agente estabilizador dos agregados, segundo afirmam Campos et al. (1995). A presença das raízes também contribuiu para a formação, a manutenção e a dimensão dos agregados do solo (SILVA et al., 1998). A combinação destes fatores contribuíram para a formação de agregados mais estáveis na camada superficial do solo, segundo a teoria de Tisdall e Oades (1982) e afirmações de Lima et al. (2003), Gale et al. (2000) e Bronick e Lal (2005).

#### 4.3 PERDAS DE ÁGUA E SOLO

##### 4.3.1 Perdas de água e solo em base anual

No segundo ano de desenvolvimento da cultura de *Eucalyptus benthamii*, a utilização de diferentes sistemas de preparo do solo interferiu mais fortemente nas perdas de solo do que nas perdas de água, corroborando com os dados obtidos na maioria dos trabalhos de erosão hídrica (ver Tabela 7). Gobbi et al. (2011) atribuíram as menores alterações nas perdas de água do que de solo à existência de uma capacidade de infiltração limitada, relativa a cada tipo de solo, a partir da qual o volume de

enxurrada tende a igualar-se em diferentes sistemas de manejo, conforme Kohnke (1968).

Tabela 7. Valor da precipitação total e perdas totais de água e solo no período de 2011 a 2012 nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média dos três blocos).

Tratamentos	Precipitação	Perda de água total	Perda de solo total
	.....mm.....		Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
SFD		52,82a	0,52a
SCD	1.733	39,78a	0,20b
CM		35,42a	0,07b

Fonte: Produção da própria autora.

As perdas totais de solo foram maiores estatisticamente no tratamento SFD, do que no SCD e CM, em 2,7 e 7 vezes, respectivamente, os quais não diferiram significativamente entre si. Magro (2012) encontrou diferenças maiores entre estes tratamentos, em que no SFD as perdas de solo foram 9 e 23 vezes maiores do que nos tratamentos SCD e CM, respectivamente.

As perdas totais anuais, embora significativas do ponto de vista da preservação ambiental fora do local de origem da erosão, foram baixas se considerada a manutenção da capacidade produtiva do solo estudado.

As perdas totais de água não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, embora tenham sido 1,3 e 1,5 vezes maiores no tratamento SFD do que no SCD e CM, respectivamente (ver Tabela 7). Estes resultados divergem dos dados obtidos por Magro (2012), para o primeiro ano de desenvolvimento desta cultura no mesmo experimento. No trabalho deste autor, as perdas acumuladas de água por escoamento superficial sofreram maiores influências dos diferentes sistemas de preparo do solo utilizados no plantio da floresta.

As perdas de água no tratamento SFD representaram 3,05% do valor de precipitação anual, enquanto no SCD a equivalência foi 2,30% e no tratamento CM foi de 2,04%. Os valores de equivalência de perdas de água, nos três tratamentos,

foram menores do que aqueles encontrados por Magro (2012) no primeiro ano de desenvolvimento desta cultura. No trabalho deste autor, as perdas de água no tratamento SFD equivaleram a 14% da precipitação, no SCD 4,7% e no CM 3,7%.

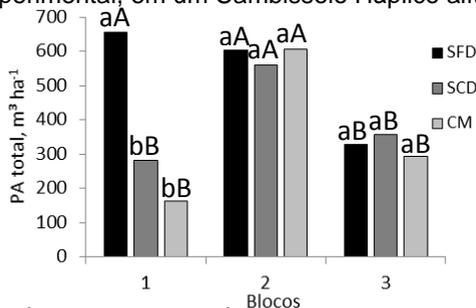
A redução das perdas de água hora observada, pode estar relacionada ao fechamento do dossel das plantas ao longo do segundo ano de desenvolvimento da cultura, o que promoveu maior interceptação da água das chuvas pela copa, impedindo que atingisse diretamente o solo, corroborando com Avolio et al. (1980), que encontrou, para área com floresta adulta de eucalipto, maior efeito sobre a redução da erosão, enquanto em área submetida ao corte raso, no início do experimento, a erosão foi maior, tendendo a diminuir com o restabelecimento da cobertura vegetal. No primeiro ano de implantação da cultura, o solo estava mais mobilizado e também mais suscetível a erosão.

A interceptação foliar, portanto, potencializou a capacidade de retenção superficial dos resíduos vegetais, aumentando o tempo de permanência da lâmina de água sobre a superfície do solo, favorecendo a infiltração gradual, e então diminuindo o escoamento superficial (WISCHMEIER, 1973). O crescimento da massa radicular das árvores e conseqüentemente aumento das galerias internas também devem ter contribuído para a infiltração de água no solo.

A diferença mais importante nas perdas de água em relação ao volume de chuva precipitado deu-se no tratamento SFD, que passou de 14% no primeiro ano para 3,05% no segundo ano. A maior perda de água, no primeiro ano deste experimento, é explicada pelo livre escoamento que ocorreu neste tratamento nas linhas de plantio, as quais foram marcadas no sentido da pendente, formando canais escoadouros que concentraram a enxurrada incrementando a velocidade e força ao longo da rampa devido a inexistência dos resíduos nestas linhas.

Segundo Luciano (2009), a presença de resíduos tem a função de exercer barreira física contra o escoamento. A rugosidade superficial proporcionada pela subsolagem e pelos resíduos florestais nos tratamentos SCD e CM, respectivamente, aumentaram a resistência ao escoamento superficial nestes tratamentos, no período inicial (plantio) da floresta (ver Figura 6).

Figura 6 – Perdas totais de água no período de 2011 a 2012, em cada unidade experimental, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.



Letras minúsculas comparam valores entre tratamentos e, maiúsculas, valores entre blocos.

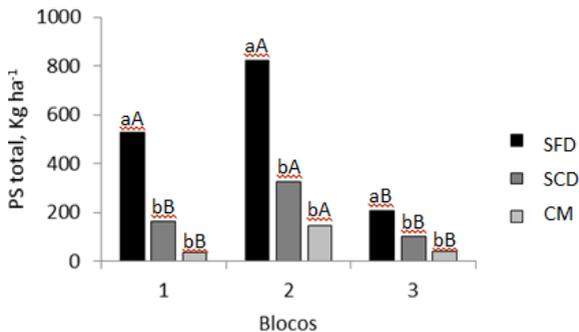
Fonte: Produção da própria autora.

A diferença das perdas acumuladas de água entre tratamentos é verificada apenas no bloco 1, sendo maior no tratamento SFD do que nos demais (ver Figura 6). A influência do sistema de preparo utilizado para o plantio, neste caso, foi importante. Este comportamento relaciona-se ao fato de os sulcos produzidos pelo subsolador no sentido do declive terem facilitado o escoamento superficial na direção da pendente neste tratamento, em comparação aos demais em que os sulcos foram em contorno em um e, em outro, apenas covas foram abertas. Isto influenciou a retenção da água na superfície do solo e se refletiu nas perdas por escoamento superficial.

As perdas de água, considerando os blocos (diferença espacial), apresentaram diferença estatística, sendo maiores no bloco 2 do que nos demais, independente do tratamento, fato que deve estar relacionado com fatores do solo, que não foram controlados nesta pesquisa. Assim como o comportamento similar entre os tratamentos, apresentada no bloco 3.

Com relação as perdas de solo, se observou um comportamento diferente das perdas de água, apresentando maior interferência do sistema de preparo de solo nos valores de perdas totais (ver Figura 7).

Figura 7 – Perdas totais de solo no período de 2011 a 2012, em cada unidade experimental, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.



Letras minúsculas comparam valores entre tratamentos e, maiúsculas, valores entre blocos.

Fonte: Produção da própria autora.

As perdas acumuladas de solo (ver Figura 7), assim como as perdas acumuladas de água (ver Figura 6), foram estatisticamente maiores no bloco 2, independente do tratamento. Porém, diferente das perdas de água, as perdas de solo apresentaram influência do sistema de preparo adotado, seguindo a mesma tendência em todos os blocos, em que o tratamento SFD apresentou maiores perdas do que os outros dois, os quais não apresentaram diferença entre si.

A perda de solo máxima encontrada para o tratamento SFD, verificada no bloco 2 ( Figura 7), foi de 0,82 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, valor este que, apesar de maior do que nos demais tratamentos, está muito abaixo da perda de solo considerada tolerável para a mesma classe de solo, 9,25 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (BERTOL & ALMEIDA, 2000). Este valor também difere do resultado obtido por Magro (2012), no primeiro ano de desenvolvimento desta cultura, 19 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, superior ao limite de tolerância para este solo.

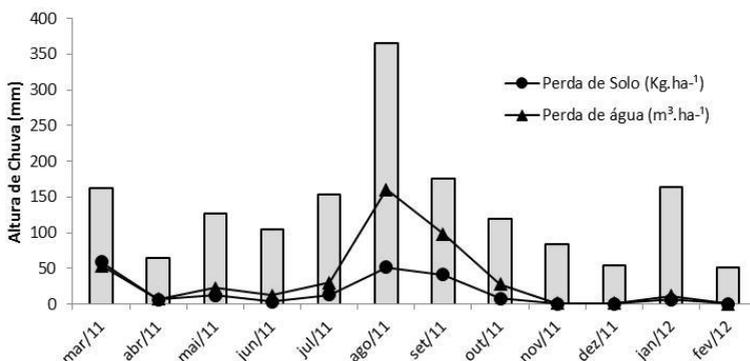
Segundo Bertol *et al.* (2010), as maiores perdas de solo por erosão no período inicial de experimentos dessa natureza podem ser atribuídas ao efeito desagregador da subsolagem, que torna o solo mais susceptível ao transporte pelo escoamento. Este aspecto, combinado à ausência de cobertura foliar, pode ter facilitado o processo erosivo logo após o plantio

da cultura, justificando os altos valores encontrados por Magro (2012).

Os resultados de perdas de solo verificados no SCD, apesar de neste tratamento o solo ter sido revolvido, assemelhou-se aos valores obtidos com o tratamento CM (ver Figura 7), corroborando com Cavichiolo (2005). Este autor relata resultados positivos do ponto de vista de controle da erosão em áreas de subsolagem em contorno, nas quais as perdas de solo foram similares às verificadas em áreas sem preparo do solo. Embora tenha sido realizada a subsolagem, a mesma provocou baixas perdas de solo devido, principalmente, ao fato do direcionamento ter sido em contorno no declive, formando barreiras ao escoamento.

A diminuição dos valores de perda de solo observadas do primeiro para o segundo ano de desenvolvimento, neste experimento (ver Figura 8), mostra a importância da cobertura do solo por resíduos vegetais e a sua alta eficiência e o efeito positivo do crescimento das árvores em relação ao controle do escoamento superficial e da erosão hídrica.

Figura 8 – Altura de chuva mensal observada e perdas de solo e água mensais, no desenvolvimento inicial do *Eucalyptus benthamii*, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico (média dos tratamentos e dos blocos para as perdas de solo e água).

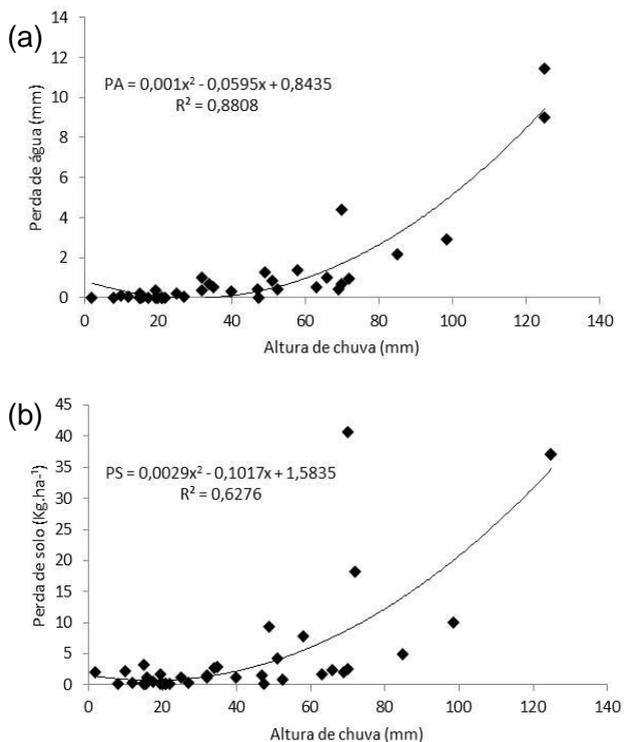


Fonte: Produção da própria autora.

Analisando conjuntamente as perdas mensais de água e solo (ver Figura 8), percebe-se que houve uma relação estreita dessas duas perdas, as quais tenderam a diminuir ao longo do tempo, ressalvando-se a oscilação temporal do volume de chuva. Nos meses de maior precipitação, agosto e setembro, ocorreu um aumento das perdas de água com relação às perdas de solo, enquanto nos demais meses as perdas de água comportaram-se praticamente do mesmo modo que as perdas de solo. Isto pode ser explicado porque estando o solo já saturado de água, a infiltração diminui, provocando o aumento da enxurrada (ver Figura 9).

As perdas de água (ver Figura 9 – a) variam mais efetivamente com o volume de chuva, do que as perdas de solo (ver Figura 9 – b). Os dados obtidos mostraram que as perdas de água foram explicadas em 88% pela altura de chuva, enquanto as perdas de solo o foram em 63%, ambas exponencialmente positivas, ou seja, quanto maior a altura de chuva, maiores as perdas de água e solo.

Figura 9 – Coeficiente de determinação da PA (a) e da PS (b) em função da altura de chuva, com dados de 2011 a 2012, incluindo valores dos tratamentos e dos blocos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.



Fonte: Produção da própria autora.

#### 4.3.2 Perdas de água e solo em base estacional

Os resultados de perdas de água e solo representam, na maior parte dos casos, valores acumulados de mais de uma chuva, já que as coletas foram realizadas semanalmente. Os valores de precipitação e perdas de água e solo foram agrupados por estações do ano, somando os valores semanais no período (ver Tabela 8).

Tabela 8. Perdas de água e solo por estação do ano, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

Estação do ano	Precipitação	Perdas de água	Perda de solo
	mm	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
SFD			
Outono	394,5	123 b	150 b
Inverno	675,0	225 a	242 a
Primavera	379,5	165 b	111,64 b
Verão	284,0	15 c	13,49 c
CV (%)		25%	29%
SCD			
Outono	394,5	72 b	58 b
Inverno	675,0	182 a	104 a
Primavera	379,5	130 a	39 b
Verão	284,0	15 c	5 c
CV (%)		36%	32%
CM			
Outono	394,5	57 b	16 b
Inverno	675,0	203 a	38 a
Primavera	379,5	86 b	50 a
Verão	284,0	8 c	1 c
CV (%)		39%	42%

Fonte: Produção da própria autora.

Analisando as perdas de água e solo por estação do ano, observa-se que, independente do tratamento, os maiores valores, numericamente falando, ocorreram no inverno, que foi também a estação com maiores alturas de chuva, mostrando a relação direta desta com as perdas de água (ver Tabela 8).

Tanto as perdas de água como de solo tenderam a serem maiores nas estações de maior volume de chuva, sendo maiores no inverno, intermediárias no outono e primavera e, menores no verão, independentemente do tratamento. Contudo, em alguns

casos, não havendo diferença significativa entre as estações. (ver Tabela 8).

No inverno, as chuvas foram menos erosivas, porém o volume precipitado foi maior do que nas outras estações (ver Tabela 8). As perdas neste período são, portanto, explicadas pela frequência de ocorrência das chuvas, pois em intervalos mais curtos entre os eventos, assim como grande volume precipitado num único evento, o teor de água no solo é aumentado e a possibilidade das chuvas desenvolverem enxurradas maiores é maior, mesmo com chuvas de baixa intensidade (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Foram encontrados valores altos de coeficientes de variação para as perdas de água e solo, o que pode ser explicado pelas diferentes erosividades das chuvas compondo uma mesma coleta, já que as perdas foram em relação a chuvas acumuladas e não por evento (ver Tabela 8).

O tratamento SFD apresentou menor coeficiente de variação tanto para as perdas de água como para as perdas de solo, sendo 25% e 29%, respectivamente. As perdas no tratamento SCD apresentaram valores intermediários, com relação aos demais tratamentos, sendo 36% e 32% para água e solo, respectivamente. O maior coeficiente de variação para as perdas de água e solo foram observadas no tratamento CM, com 39% e 42%, respectivamente. Estes resultados mostram o maior efeito do CM e menor efeito do SFD na conservação do solo, pois quanto menos eficaz na redução da enxurrada for o preparo do solo, mais similar é o escoamento de água entre diferentes volumes de chuva.

#### 4.4 TEOR DE NUTRIENTES NO SOLO

##### 4.4.1 Na profundidade de 0 - 40 cm do solo

Para o cultivo de espécies arbóreas, é importante se analisar o aporte de nutrientes em camadas mais profundas e não apenas em superfície, pois as raízes do *Eucalyptus benthamii* alcançam grandes profundidades no solo. O comportamento do C orgânico, do Al trocável e dos nutrientes

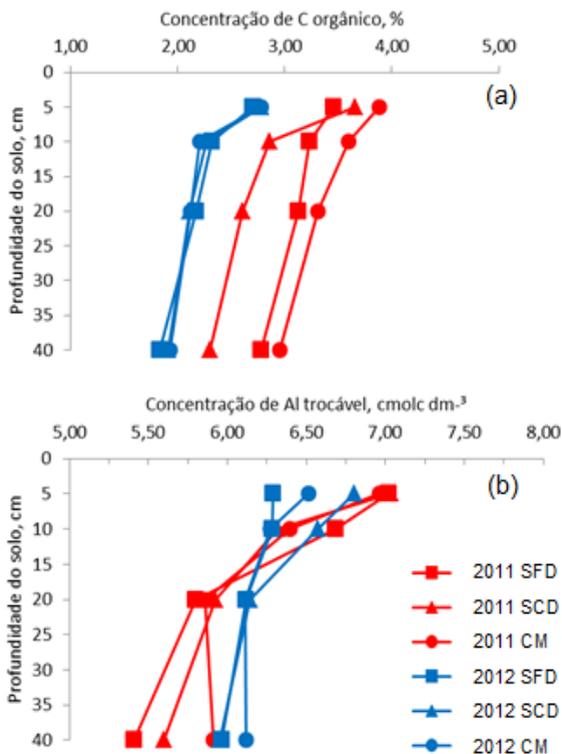
nas profundidades do solo, até 40 cm, é mostrado nas Figuras 10, 11 e 12.

De uma forma geral, o C orgânico, o P disponível e o K, Ca e Mg trocáveis, apresentaram maiores teores nas camadas superficiais, reduzindo gradativamente até a profundidade de 40 cm, independente do ano e do tratamento estudado. Este comportamento é esperado, visto que as camadas mais superficiais do solo receberam a contribuição dos resíduos vegetais e, neste caso, principalmente das adubações, fatores estes que contribuíram para o aumento da concentração destes elementos químicos na superfície do solo.

O teor de C orgânico no perfil do solo provém, em quase 100%, da decomposição dos resíduos vegetais presentes no solo. Portanto, espera-se uma maior concentração deste elemento nas camadas mais superficiais, com decréscimo de seu teor na profundidade do solo. Isto foi encontrado neste experimento (ver Figuras 10 – a). No período de 2011 para 2012, houve um decréscimo no teor em todas as camadas, o que representou sua saída do sistema, provavelmente pela absorção pelas plantas combinado a lenta decomposição da matéria orgânica, principalmente no tratamento CM, que apresentou maior redução entre os dois períodos, em todas as camadas.

O Al mostra a mesma tendência do C orgânico, ou seja, redução da sua concentração no solo com o aumento da profundidade (ver Figuras 10 – b). Observou-se a tendência, independentemente do tratamento, de reduzir a variação de concentração entre as camadas do solo, ou seja, o teor de Al nas camadas mais profundas aumenta e nas camadas mais superficiais reduz de um ano para o outro.

Figura 10 – Teores de C orgânico e Al trocável entre 2011 e 2012, em quatro profundidades no solo (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), para cada tratamento, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

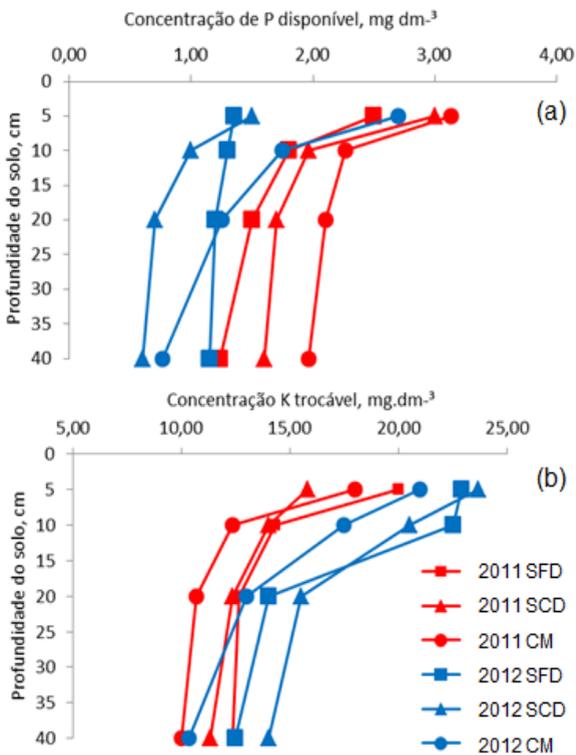


Fonte: Produção da própria autora.

No comportamento ao longo do período de um ano, tanto o P disponível quanto o K trocável apresentaram a mesma tendência em profundidade, diminuindo seus teores (ver Figura 11). Porém, os teores de P reduziram de um ano para o outro (ver Figuras 11 – a), ao contrário dos teores de K trocável que aumentaram (ver Figuras 11 – b), o que pode ser atribuído à capacidade do K em se reciclar, como também a recarga deste nutriente pelo escoamento de tronco, que se torna significativa com o desenvolvimento da cultura.

Nas linhas de comportamento de ambos nutrientes consegue-se perceber o efeito do maior escoamento superficial no SFD, com diminuição do teor destes elementos na camada de 0-5 cm neste tratamento, para 2012. O tratamento CM apresentou os maiores teores de P disponível nos dois anos e menor diferença entre 2011 e 2012 nas camadas superficiais, explicado por suas menores perdas de água e solo, acarretando na menor perda de nutrientes.

Figura 11 – Teores de P disponível e K trocável entre 2011 e 2012, em quatro profundidades no solo (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), para cada tratamento, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.



Fonte: Produção da própria autora.

Apesar da capacidade de reciclagem do K, Silveira et al. (1995), em um levantamento sobre a ocorrência de deficiências nutricionais em florestas plantadas com *Eucalyptus sp* de 22 empresas florestadoras, concluíram que as deficiências mais frequentes são de K, P e B.

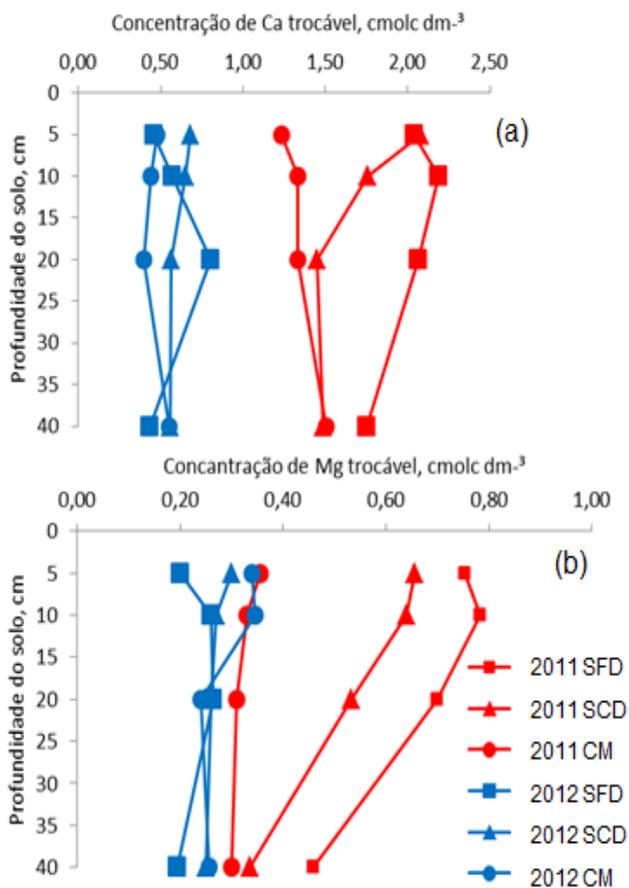
O K tem sido o nutriente mais limitante ao crescimento do *Eucalyptus* em várias regiões florestais, como Itatinga/SP, São Simão/SP, Altinópolis/SP, Mogi-Guaçu/SP e Itamarandiba/MG (VALERI et al., 1991; GALO, 1993; SILVEIRA et al., 1995d; GAVA, 1997; e 1996). Dos três tratamentos analisados, se percebe no SCD melhor condições de aporte deste nutriente, tendo maiores concentrações dele nas camadas mais profundas em 2012 (ver Figuras 11 – b), o que pode favorecer o desenvolvimento da cultura neste tratamento, pois segundo BARROS et al. (1990) a necessidade de K aumenta com o acúmulo de biomassa e, portanto, com a idade do eucalipto.

Os teores de Ca e Mg trocável seguem comportamentos similares em profundidade e entre os anos de 2011 e 2012. Ambos tenderam a diminuir com o aumento da profundidade, e apresentaram também redução no teor em todas as camadas no segundo ano, independentemente do tratamento (ver Figura 12).

É possível observar as menores concentrações destes nutrientes no tratamento CM, e um melhor aporte destes no tratamento SFD, apesar de, no segundo ano a diferença entre os tratamentos reduzir consideravelmente.

A maior concentração de Ca em superfície nos tratamentos SFD e SCD (ver Figura 12 – a) podem ter favorecido o desenvolvimento inicial da cultura, pois a concentração deste nutriente é considerada o fator mais importante no desenvolvimento radicular das plantas (RITCHEY et al., 1982).

Figura 12 – Teores de Ca trocável e Mg trocável entre 2011 e 2012, em quatro profundidades no solo (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), para cada tratamento, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.



Fonte: Produção da própria autora.

#### 4.4.2 Na camada superficial do solo de 0 - 3 cm

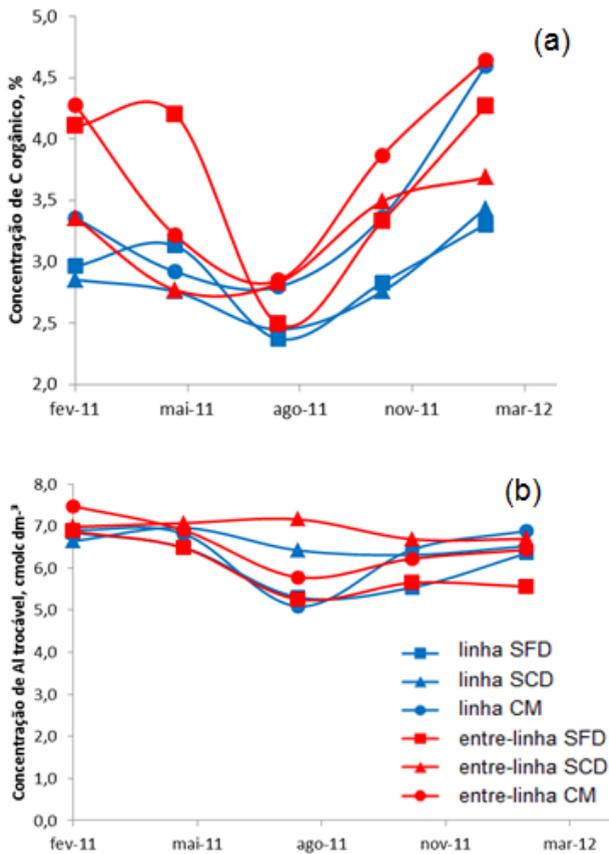
Na camada superficial do solo foram coletadas amostras em cinco momentos durante o período experimental, 2011 a 2012. Nestas amostras analisou-se o comportamento dos teores de C orgânico, de P disponível e de Al, de K, de Ca e de Mg trocáveis ao longo do tempo, na linha e na entre-linha de plantio (ver Figuras 13, 14 e 15).

O teor de C orgânico na camada superficial do solo, assim como todos nutrientes analisados, apresentou oscilação ao longo do tempo. Percebe-se uma maior concentração nos pontos da entre linha, local que não recebeu adubação (ver Figura 13 – a). Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que o C orgânico é originado do material vegetal presente no solo, o qual estava em maior quantidade nestes pontos que não sofreram o revolvimento do solo e mantiveram sua cobertura por resíduos.

Comportamento oposto ocorreu nos pontos da linha, onde se fez a retirada parcial da cobertura residual do solo para possibilitar o plantio. A queda do teor de C orgânico no mês de agosto para todos os pontos e tratamentos se deve à maior erosão ocorrida neste período (ver Figura 8), transportando grande quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente de C orgânico.

O Al trocável apresentou teores relativamente estáveis ao longo do tempo, independentemente do tratamento e do local de coleta das amostras de solo. Houve tendência de diminuição do início ao fim do período experimental, e com dispersão dos valores levemente maior no mês de agosto. Este mês correspondeu ao período de maior volume de chuvas e de perdas de solo e água (ver Figura 8), o que pode ter provocado a perda de Al no sistema nos tratamentos SFD e CM (ver Figura 13 – b).

Figura 13 – Teores de C orgânico (a) e Al trocável (b), entre 2011 e 2012, na linha e na entre-linha, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico, (média de três pontos dentro de cada unidade experimental, e dos blocos).

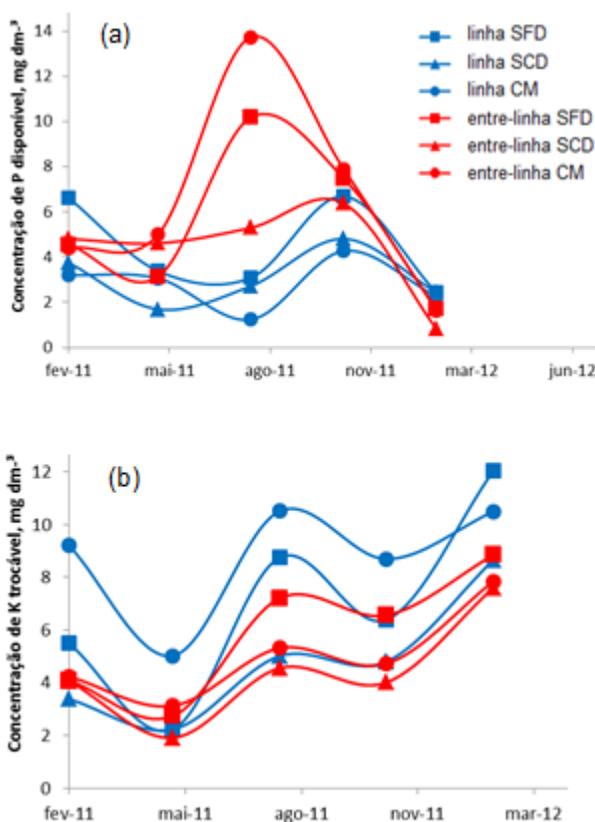


Fonte: Produção da própria autora.

Os nutrientes P e K foram adicionados ao solo pela adubação, no ponto da linha, mesmo assim, os teores na camada superficial neste ponto não foram maiores que os da entre linha, conforme esperado. O menor teor de P no ponto da linha com relação ao ponto na entre linha (ver Figura 14 – a),

para o mês de agosto, pode estar relacionado à maior perda de solo e água por erosão, que ocorreu no referido mês (ver Figura 8). Já o pico nos pontos da entre linha neste mesmo período pode estar relacionado ao aumento da umidade no solo, o que possivelmente favoreceu a disponibilidade de P para as plantas, já que este foi observado nos tratamentos CM e SFD.

Figura 14 – Teores de P disponível e K trocável, entre 2011 e 2012, na linha e na entre-linha, nos três tratamentos, em um Cambissolo háplico alítico latossólico, (média de três pontos dentro de cada unidade experimental, e dos blocos).



Fonte: Produção da própria autora.

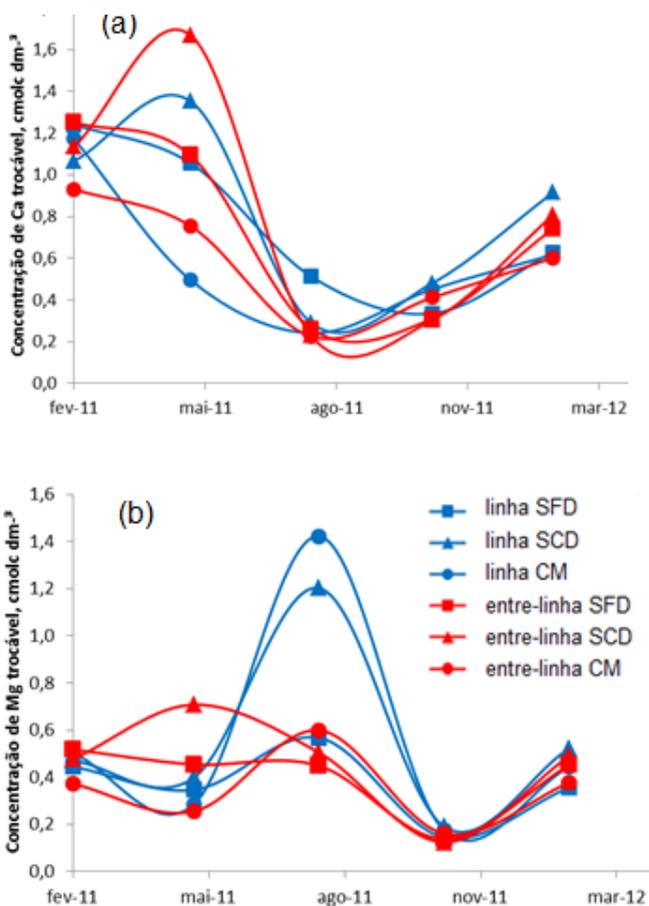
Independentemente do ponto de coleta na parcela e do tratamento, o teor de P apresentou uma tendência a diminuir em superfície após o período de maiores perdas de água e solo, nos meses de agosto e setembro (ver Figura 8).

O teor de K trocável em superfície apresentou a mesma tendência nos dois pontos dentro da parcela, assim como nos três tratamentos, comportando-se de forma contrária que o P trocável (ver Figura 14 – b). Sua concentração em superfície apresentou valores menores nos períodos de menores volumes de chuva (ver Figura 8), maio e novembro, e mostrou um pico no mês de agosto, em que as perdas de água e solo foram maiores.

O K é um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento do Eucalipto, porém a sua maior concentração no tratamento CM (ver Figura 14 – b) pode não ter garantido o melhor desenvolvimento da cultura, pois, segundo observado por Silva et al. (2002), a compactação do solo, o que se detectou para o tratamento CM neste estudo (ver Tabela 5), restringe o crescimento e aumenta o diâmetro médio de raízes de eucalipto, além de proporcionar redução do K na planta, reduzindo a eficiência de utilização do elemento e a eficiência da adubação potássica.

Para todos os tratamentos e locais dentro da unidade experimental, o Ca trocável, assim como observado para o C orgânico (ver Figura 13 – a), apresentou os menores teores entre agosto e setembro em relação às outras épocas do ano (ver Figura 15 – a). Já o comportamento do Mg trocável (ver Figura 15 – b) foi similar ao comportamento do K (ver Figura 13 – b), em que os maiores teores se apresentaram no período de maior precipitação, mês de agosto, com um pico nos pontos da linha, nos tratamentos SCD e CM. O pode ser explicado pela recarga deste nutriente pelo escoamento de tronco. O valor baixo para SFD seria explicado pelo fato de o ponto da linha ser o mais susceptível à erosão e onde os nutrientes tendem a ser mais facilmente carregados pelo escoamento facilitado nos sulcos de plantio, neste tratamento.

Figura 15 – Teores de Ca e Mg trocáveis, entre 2011 e 2012, na linha e na entre-linha, nos três tratamentos, em um Cambissolo Háplico alítico latossólico, (média de três pontos dentro de cada unidade experimental, e dos blocos).



Fonte: Produção da própria autora.

De uma forma geral, o comportamento dos teores do C orgânico e dos elementos químicos reflete a influência da variação climática decorrentes das estações do ano, combinada

à maneira de aplicação e incorporação do adubo no solo, conforme exposto no item 3.2.

O clima apresentou influência na decomposição de resíduos vegetais e nos fluxos da água e dos elementos químicos no solo, fazendo variar os seus teores.

A fertilização foi realizada na superfície do solo, sendo o adubo incorporado no tratamento SFD e no SCD até a profundidade de aproximadamente 25 cm, por ter sido realizada mecanicamente com subsolagem, enquanto no tratamento CM, por ser manual, a incorporação se deu na camada mais superficial, por isso sua maior concentração na linha, mesmo sob maior volume de chuva.

## 4.5 PERDAS DE NUTRIENTES NA ÁGUA DE ENXURRADA

### 4.5.1 Coeficiente de Determinação

As perdas de nutrientes neste estudo foram mensuradas apenas na água da enxurrada, não sendo possível a análise nos sedimentos, devido ao pequeno volume destes nas amostras coletadas.

Os teores de nutrientes encontrados na água da enxurrada foram relacionados com os teores encontrados na camada superficial do solo (ver Figuras 16 à 21), de forma a estimar o valor do coeficiente de determinação da concentração destes na água da enxurrada, em função da sua concentração na superfície do solo.

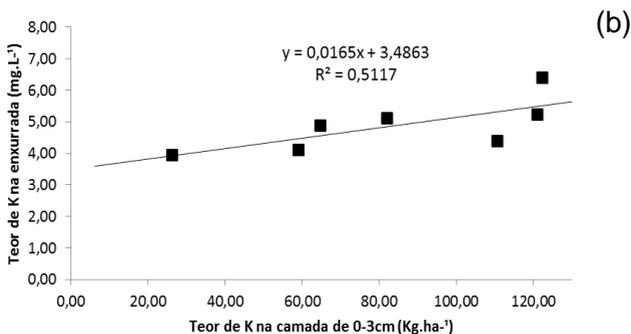
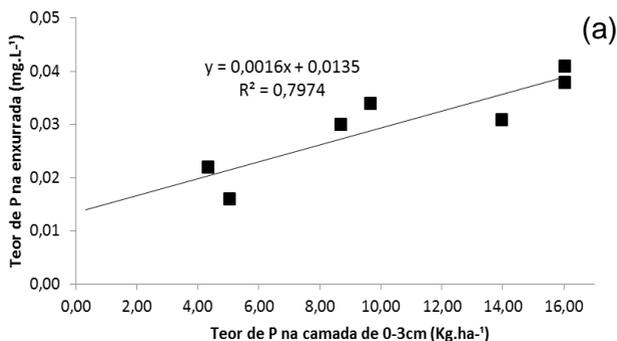
O P apresentou um coeficiente de determinação de 80% no tratamento SFD (ver Figura 16 – a), corroborando com observações de Pionke e Kunishi (1992), que também encontraram este valor entre o P perdido na água do escoamento superficial e o teor do elemento na superfície do solo. Independente da intensidade do escoamento, Sharpley (1980) afirma que a maior parte das perdas de P está relacionada aos sedimentos e não à água do escoamento superficial.

No tratamento SCD, este valor foi de apenas 3% (ver Figura 17 – a) e, em CM, houve uma relação negativa, em 43% (ver Figura 18 – a), mostrando que quanto mais conservacionista

o sistema de preparo, menor a relação direta entre P contido na água do escoamento superficial e aquele contido na superfície do solo.

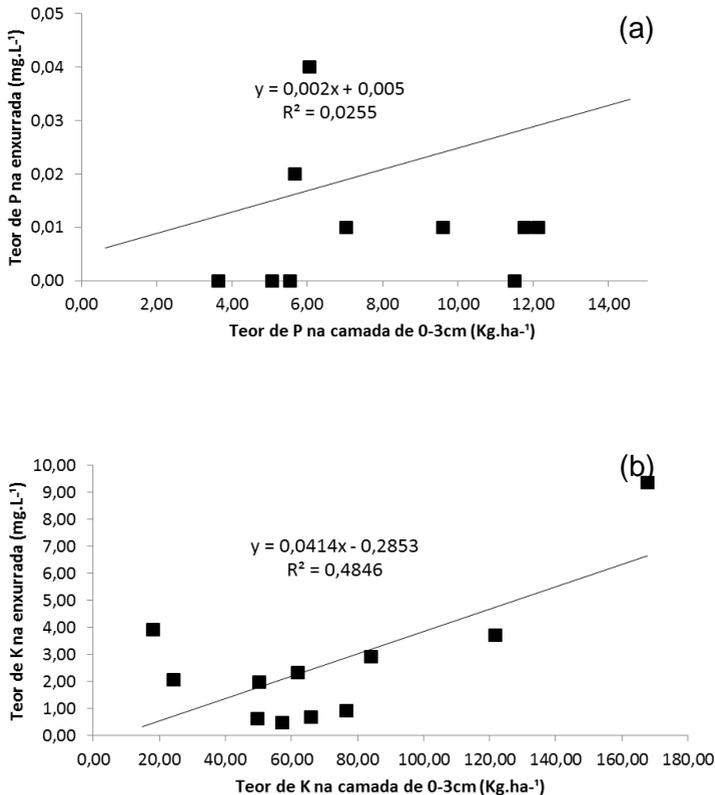
O maior valor de coeficiente de determinação observado para o P no tratamento SFD (ver Figura 16 – a) pode ser atribuídas à facilidade que a água teve em carrear o fertilizante aplicado, uma vez que neste tratamento o solo apresenta uma faixa na linha de plantio desprovida de resíduo superficial, não havendo, assim, impedimento ou barreira física que dificultem esse transporte.

Figura 16 – Coeficiente de determinação do teor de P (a) e K (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento SFD.



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 17 – Coeficiente de determinação do teor de P (a) e K (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento SCD.

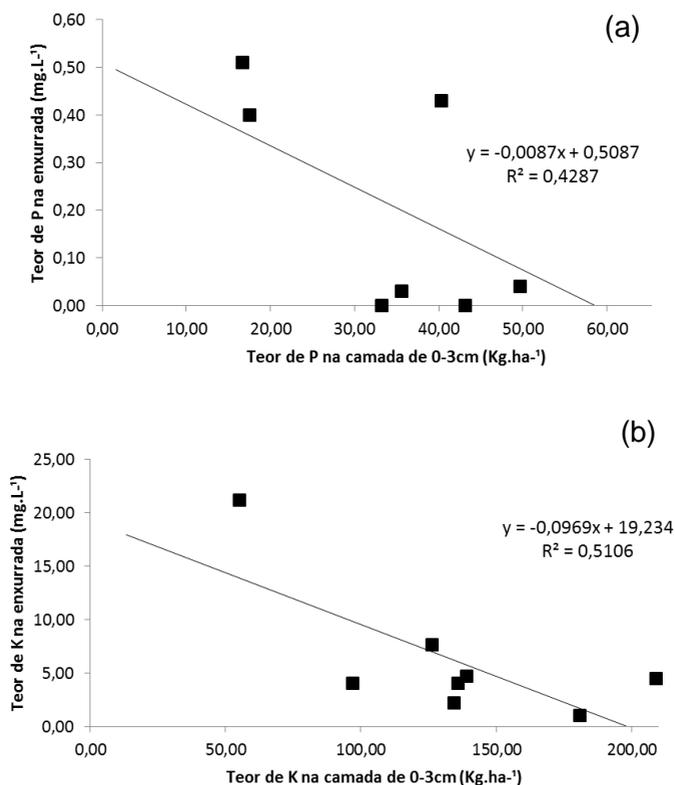


Fonte: Produção da própria autora.

O K apresentou coeficiente de determinação, no tratamento SFD, que explica em 51% (ver Figura 16 – b) e, em SCD, em 48% (ver Figura 17 – b), portanto, maior do que a encontrada para o P. O mesmo comportamento observado para o P (ver Figura 18 – a) foi observado para o K no tratamento CM, com um coeficiente de determinação que explica a concentração deste na água da enxurrada, de forma negativa, em 51% (ver

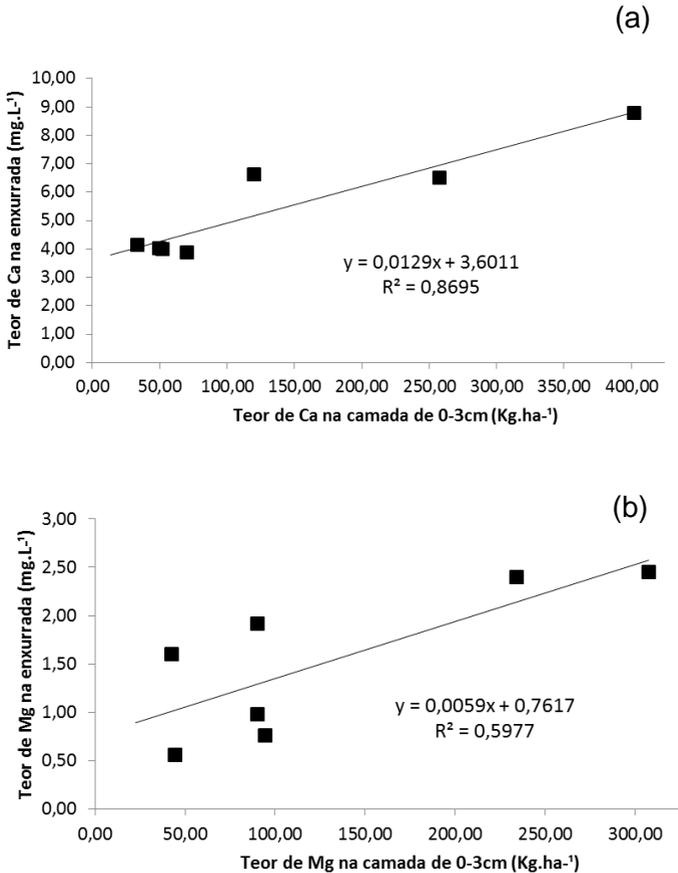
Figura 18 – b). Isto pode ser atribuído ao mínimo revolvimento de solo pelo método de plantio semi-mecanizado neste tratamento, o que possivelmente dificulta o carregamento destes nutrientes pela água da enxurrada e proporciona a permanência destes na superfície do solo.

Figura 18 – Coeficiente de determinação do teor de P (a) e K (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento CM.



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 19 – Coeficiente de determinação do teor de Ca (a) e Mg (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento SFD.

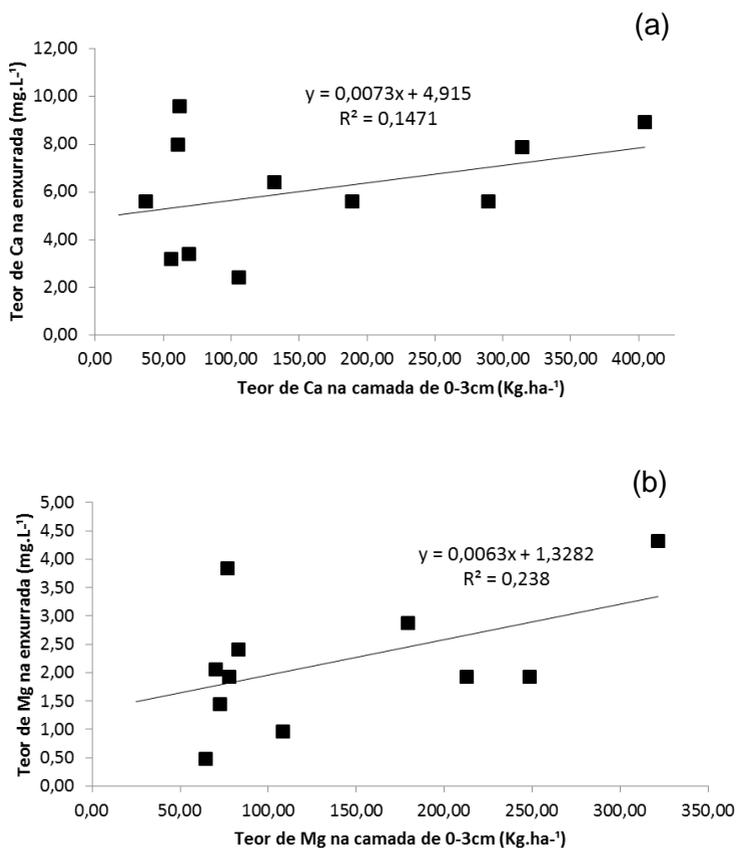


Fonte: Produção da própria autora.

Os nutrientes Ca e Mg apresentaram um relação positiva entre os teores presentes na água da enxurrada e os teores presentes no solo, independente do tratamento, com maior coeficiente de determinação para o tratamento SFD, de 87% (ver Figura 19 – a) e 60% (ver Figura 19 – b) para Ca e Mg, respectivamente. Valores intermediários foram encontrados para

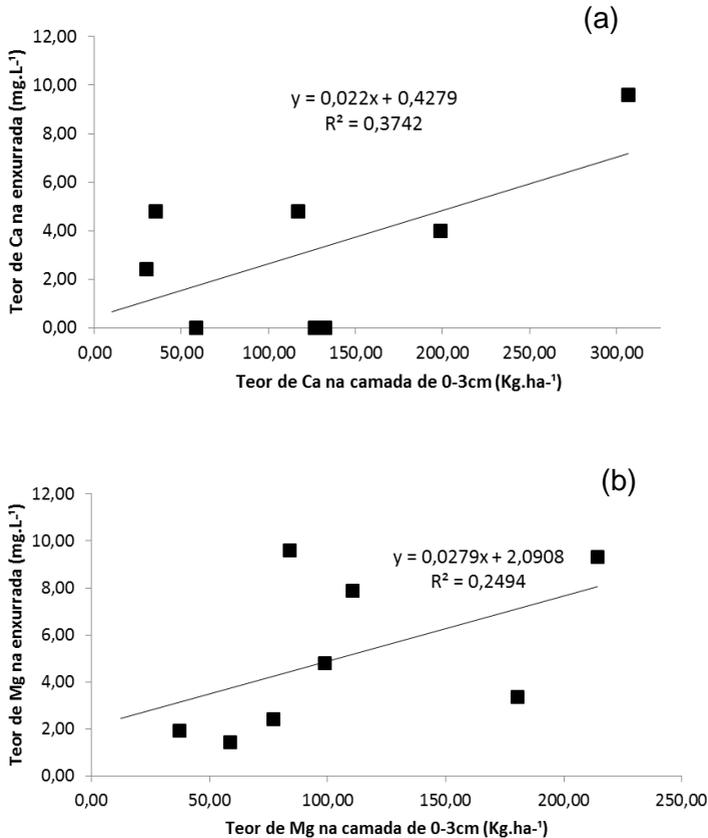
o tratamento CM, sendo 37% (ver Figura 21 – a) e 25% (ver Figura 21 – b) para Ca e Mg, respectivamente e menores coeficientes para o tratamento SCD, de 15% (ver Figura 20 – a) e 24% (ver Figura 20 – b), para Ca e Mg, respectivamente.

Figura 20 – Coeficiente de determinação do teor de Ca (a) e Mg (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento SCD.



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 21 – Coeficiente de determinação do teor de Ca (a) e Mg (b) na água da enxurrada, em função da concentração destes na camada de 0–3 cm do solo, no tratamento CM.



Fonte: Produção da própria autora.

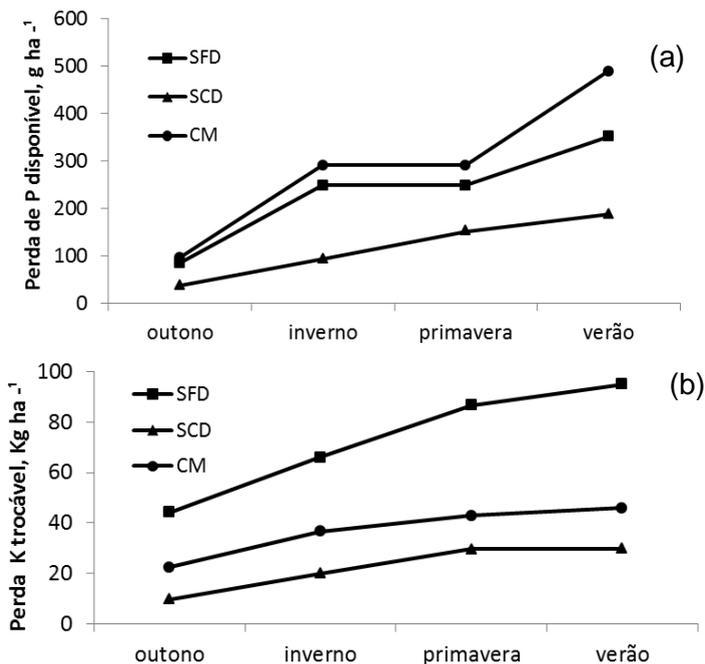
As relações encontradas para o tratamento CM diferem dos resultados encontrados pela maioria dos pesquisadores para solos agrícolas, com relação ao teor dos elementos na camada superficial do solo e o teor destes no escoamento superficial. Este fato pode estar atrelado ao efeito conservacionista da

floresta de eucalipto com relação a erosão hídrica, após o estabelecimento das plantas na área, como também pelo fato de a estimativa de perda dos elementos ter desconsiderado o a concentração no sedimento.

#### 4.5.2 Perdas Acumuladas

As perdas de nutrientes acumuladas foram calculadas com a soma dos valores trimestrais, correspondente as quatro estações do ano, para P disponível e K, Ca e Mg trocáveis (ver Figuras 22 e 23).

Figura 22 – Perdas acumuladas de P (a) e K (b) na água da enxurrada, em cada tratamento (média dos blocos).



Fonte: Produção da própria autora.

A perda de P disponível na água da enxurrada, foi maior no tratamento CM, apresentando um comportamento similar ao SFD, ao longo do ano, com maiores perdas no inverno e no verão (ver Figura 22 – a). O SCD apresentou uma taxa de perda constante durante todo o período, sendo significativamente menor que os demais, nas quatro estações do ano, o que pode ser atribuído às barreiras físicas formadas pelos sulcos em contorno, que armazenam e resíduoos que filtram a água da enxurrada minimizando as perdas.

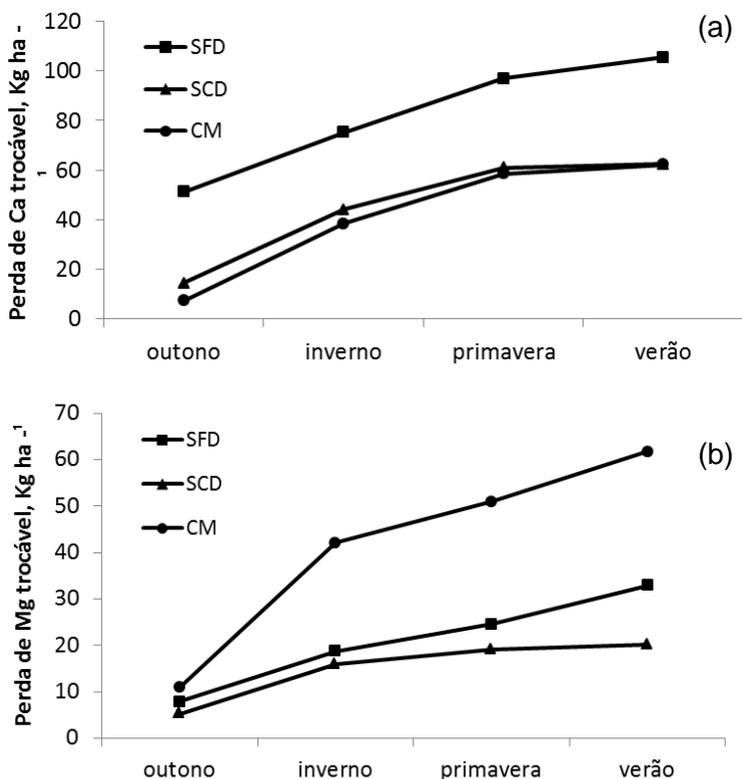
Assim como para o P, o SCD apresentou para o K uma taxa constante de perda durante o período, com valores menores que os demais tratamentos, nas quatro estações do ano. O CM apresentou um comportamento similar ao do SCD, porém com valores sensivelmente maiores (ver Figura 22 - b). Observa-se que o SFD sofreu perdas significativamente maiores, o que pode ser explicado pela alta concentração de K proveniente do escoamento de tronco, que é facilmente carregado pela água da enxurrada neste tratamento, devido ao sulco no sentido do declive, na linha de plantio, que facilita o escoamento superficial.

As perdas Ca foram significativamente maiores no tratamento SFD, com relação aos demais. O SCD e CM apresentaram o mesmo comportamento, com valores muito próximos das quatro estações do período (ver Figura 23 – a).

As perdas de Mg foram consideravelmente maiores no tratamento CM em relação aos demais, apresentando um pico de perda no inverno, período de ocorrência de maior volume de chuva. O SCD e o SFD apresentaram valores bem próximos, contudo este mostrou valores levemente maiores, nos quatro períodos, se distanciando mais na estação do verão (ver Figura 23 – b) o que pode ser justificado pelas chuvas de menor volume, porém mais intensas, promovendo mais facilmente as perdas nestes tratamentos pela facilidade de escoamento pelos sulcos.

De maneira geral, os valores de perdas acumuladas revelam o tratamento SCD como o mais conservacionista, dentre os três, pois independente do nutriente, foi o tratamento que promoveu menores perdas totais dos elementos avaliados.

Figura 23 – Perdas acumuladas de Ca (a) e Mg (b) na água da enxurrada, em cada tratamento (média dos blocos).



Fonte: Produção da própria autora.

#### 4.6 DESENVOLVIMENTO INICIAL DA FLORESTA

O resultado dos dados de inventário realizados nos tratamentos, para avaliar o desenvolvimento inicial da cultura, encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9. Índice de sobrevivência, área basal, volume de madeira e incremento médio na idade de medição para uma floresta de *Eucalyptus benthamii* com dois anos de idade em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

	Sobrevivência	Área basal	Volume Madeira	IMA
	%	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
SFD	99	11,78 ab	35,31 ab	17,65 ab
SCD	97	12,22 a	39,47 a	19,74 a
CM	95	8,53 b	25,38 b	12,69 b
CV(%)				54,21 %

Fonte: Produção da própria autora.

Em todos os dados levantados percebe-se que os tratamentos SFD e SCD apresentaram os melhores resultados no que se refere ao desenvolvimento da cultura. O índice de sobrevivência foi menor no tratamento CM, o que pode ser atribuído às condições físicas da camada mais superficial do solo no momento do plantio das mudas. Como este não sofreu o efeito desagregador da subsolagem, apresentou menor macroporosidade (ver Tabela 5).

Na maioria das profundidades do tratamento CM o valor de macroporos, mesmo após um ano do plantio, apresentou valores a baixo. Para não afetar o desenvolvimento da cultura, o solo deve ter volume de poros de aeração superior a 0,10 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> (TAYLOR & ASCROFT, 1972; HILLEL, 1998), valor este que foi menor neste tratamento.

Nos tratamentos em que se utilizou a subsolagem, devido ao maior revolvimento do solo, se observou melhores condições físicas do solo na sua camada superficial, corroborando assim com os demais estudos que verificaram efeito positivo do preparo do solo no desenvolvimento radicular e no crescimento do *Eucalyptus* (FINGER et al. 1996).

O menor incremento de madeira observado no tratamento CM pode ser resultado do menor desenvolvimento inicial das suas raízes no solo, o que corrobora com Gomes e Paiva (2004), que verificaram a importância da biomassa

radicular na estimativa de sobrevivência e crescimento inicial das mudas em campo.

Além da barreira física ao crescimento das raízes no tratamento CM, a compactação pode também ter sido responsável pelo menor incremento de madeira neste tratamento, pois conforme Mapfumo et al. (1998), a compactação do solo reduz o crescimento de plantas por seu efeito negativo e, conseqüentemente, na redução na absorção de água e de nutrientes.

## 5 CONCLUSÕES

O plantio manual em cova provocou as menores perdas de solo e água e, o plantio em contorno as menores perdas de nutrientes de plantas.

As perdas de solo por erosão hídrica foram influenciadas em magnitude maior do que as perdas de água, independentemente da forma de plantio.

A mudança apenas do sentido de passagem do sulco no preparo do solo, reduziu em 24% as perdas de água e em 62% as perdas de solo do sistema.

As perdas de água e solo por erosão hídrica se relacionaram positivamente com o volume de chuvas, independentemente da forma de plantio.

As perdas por erosão hídrica foram influenciadas pelo período de maior volume de chuvas, ocorrido no inverno.

Os teores de fósforo e potássio na água da enxurrada se relacionaram com os teores na superfície do solo, positivamente nos tratamentos com subsolagem no sentido do declive e em contorno ao declive e, negativamente no plantio manual em cova.

Os teores de Ca e Mg na água da enxurrada foram, em geral, explicados positivamente pelos teores contidos na camada superficial do solo, independentemente do tratamento estudado.

O plantio de *Eucalyptus benthamii* sem revolvimento da camada superficial do solo dificulta o estabelecimento e o desenvolvimento das árvores.

Ponderando-se os ganhos de crescimento inicial e as perdas por erosão hídrica, identificou-se para o sítio que o melhor método de preparo de solo foi a subsolagem em contorno ao declive.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF. **Anuario estatístico da ABRAF**. Ano base 2011 / ABRAF. – Brasília: 2012. 150p.
- ABRÃO, P. R.; GOEFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Efeito de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 3, n. 3, p. 169-172, 1979.
- ALBERTS, E.E.; SCHUMAN, G.E. & BURWELL, R.E. Seasonal runoff losses of nitrogen and phosphorus from Missouri Valley los watersheds. *J. Environ. Qual.*, 7:203-207, 1978.
- ALISSON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam, ElsevierScientific,. **Developments in soil Science**, 3. 637 p. 1973.
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P. ; BARBOSA, F. T. . Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2145-2155, 2008.
- ATLAS de Santa Catarina**. Florianópolis, 1986. 176 p
- AVOLIO, S.; CIANCIO, O.; GRINOVERO, C.; IOVINO, F.; MIRABELLA, A.; RAGLIONE, M.; SFALANGA, M.; TORRI, D. Effeti del tipo di bosco sull' entità dell' erosine in unità idrologiche della Calabria: modelli erosivi. *Annali dell' Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, v.11, p.45-131, 1980.
- BAHIA, V. G.; CURI, 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.
- BAPTISTA, J. **Métodos de preparo de solo e sua influência na erosão hídrica e desenvolvimento inicial de *Eucalyptus saligna* em um cambissolo háplico da depressão central do estado do rio grande do sul**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 73 p., 2008.
- BARROS, N. F. & COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.&

- COSTA, L. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Eds.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.
- BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:657-668, 2000.
- 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**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 485-494, 2004.
- BERTOL, I. ; COGO, N. P.; SCHICK, J. ; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. do . Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 133-142, 2007.
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declividade para preparos conservacionistas do solo. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 185 p. (Tese de Doutorado).
- BERTOL, I. Índices de erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1º aproximação. **Pesq. Agrop. Bras., Brasília**, v28, n.4, p.515-521, abr. 1993
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. Razão de perdas de solo e fator C para milho e aveia em rotação com outras culturas em três sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.545-552, 2002.
- BERTOL, I.; VASQUEZ, E. V.; GONSALEZ, A. P.; COGO, N. P.; LUCIANO, R. V.; FABIAN, E. L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(1), p.245–252, 2010
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BRITO, L. F. **Erosão hídrica de latossolo vermelho distrófico típico em área de pós plantio de eucalipto na região de Guanhaes (MG)**. 2004.78p. Dissertação de mestrado. escola superior de agricultura de Lavras, universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

- Bronick CJ & Lal R. Soil Structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 132p.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. (IAC – Boletim Técnico, 6)
- CAMPOS, B.C., REINERT, D.J., NICOLODI, R., RUEDELL, J., PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity on a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.12, p.35-51, 1988.
- CASTRO, O. M. Sistemas de preparo de solo e rotação de culturas para milho e soja: Relatório Técnico Anual. Campinas: IAC, 1988. 23p.
- CAVICHIOLO, S. R. modificações nos atributos físicos de solos submetidos a dois sistemas de preparo em rebrota de eucalyptus saligna. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.29, n.4, p.571-577, 2005
- CHAER, G.M. & TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1381-1396, 2007.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R. ; SCHWARZ, R. A.. Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes de Declive e Níveis de Fertilidade do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette te, Purdue University, 1981. 346p. (Tese de Doutorado).
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural: I - Sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantificação de solo e água

- da enxurrada. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.75-97.
- DOUGLAS, J.T. Macroporosity and permeability of some soil cores from England and France. *Geoderma*, Amsterdam, v.37, p.221-231, 1986.
- DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil. Science Society of America Proceedings*, v.4, p.60-64, 1939.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies part Agricultural Engineering, v. 28, n.4, p.145-146, 1947.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves. Tabela de composição química e valores de energéticos de alimentos para suínos e aves. Concórdia: EMBRAPA-CNPQA, 1991. 97 p. (EMBRAPA-CNPQA. Documentos, 19). EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.
- FAO. 1989. Management of Tropical Moist Forests in Africa. FAO Forestry Paper 88. 165p.
- FARIAS, G.S. Efeito de sistemas de cultivo sobre a porosidade e retenção de água de um solo laterítico bruno avermelhado distrófico. Porto Alegre, 1981. 95p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1981.
- FAVARETTO, N. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium related to water quality and plant nutrition. West Lafayette: Purdue University, 2002. 150p. (Tese - Doutorado).
- FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; SCHNEIDER, P. R. & HOPPE, J. M. Influência da camada de impedimento no solo sobre o crescimento de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.6,n.1, p.137-145, nov.1996.
- FORSYTHE, W. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Internacional de Ciências Agrícolas, 209p. 1975.
- FOSTER, G. R. Modelling the erosion processes. In: Hydrological modelling of small watersheds. **Amer. Soc. Agr. Eng.**, St. Joseph, p. 297-300, 1982.

- FREITAS, P. L. & CASTRO, A. F. Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no Estado do Paraná. **B. Inf. SBCS**, 8:43-52, 1983.
- GALE W.J., CAMBARELLA A.C. & BAILEY T.B. Root-derived carbon and formation and stabilization of aggregates. *Soil Science Society of American Journal*, 64:201-207, 2000.
- GALO, M.V. Resposta do eucalipto à aplicação de potássio em solo de cerrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 40p. (Tese de Mestrado).
- GATTO, A. et al. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 27(5), p.635–646, 2003.
- GAVA, J.L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. *Série técnica IPEF*, v.11, n.30, p.89-94, 1997.
- GOBBI, E.; BERTOL, I. ; BARBOSA, F. T.; WERNER, R. S. ; RAMOS, R. R. ; PAZ-FERREIRO, J.; GEBLER, L. Erosão hídrica associada a algumas variáveis hidrológicas em pomar de maçã submetido a diferentes manejos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso)*, v. 35, p. 1013-1024, 2011.
- GONÇALVES, J. L. de M. & STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. 498p.
- GROHMANN, F. Porosidade. In: MONIZ, A. C. *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono, 1972. p.77- 84.
- Hillel, D. *Soil dynamics: stress, strain, and strength*. New York, Academic Press, 1998. 771 p.
- HUDSON, N. W. *Soil Conservation*. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 324p.
- KOHNKE, H. *Soil physics*. New York, McGraw – Hill, 1968. 224p.
- LARSON, W.E & GILL, W.E. Soil physical parameters for designing new tillage systems. In: *CONSERVATION TILLAGE*, 1973, Ankeny. *Proceedings*. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1973. p.13-22.
- LEITE, D. Erosão hídrica sob chuva simulada em um NitossoloHáplico submetido a diferentes manejos. 2003. 100 p. (Dissertação de Mestrado) -UDESC, Lages, 2003.

- LIMA, C.R.L., PAULETTO E.A., GOMES A.S. & SILVA J.B. **Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:199-205, 2003.
- LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Introdução à pedologia. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, Dep. de Solos e Engenharia Agrícola, 1996.
- LUCIANO, R.V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; VÁZQUEZ, E.V. & FABIAN, E.L. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. R. Bras. Ci. Solo, 33:669-676, 2009.
- MAGRO, B. A. Perda de solo, água e nutrientes em três sistemas de preparo de solo florestal - Dissertação (mestrado) – UFPR – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2012. 82 f.
- MAPFUMO, E.; CHANASYK, D.S.; NAETH, M.A.; BARON, V.S. Forage growth and yield components as influenced by subsurface compaction. Agronomy Journal, Madison, v.90, n.4, p.805-812, 1998.
- MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos tabuleiros costeiros, ES.** 2005. 106p. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, 2005.
- MARTINS, S. G. et. al. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracrus (ES). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.395-403, 2003.
- MENDONÇA, E. S.; SILVA MATOS, E. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: UFV, 2005. 107p.
- MITCHELL, RL. Root growth and development. In: ' Crop growth and culture. Ames, Iowa State University Press, 1970. p. 173-194.
- PIRES, F. R. & SOUZA, C. M. de. Práticas mecânicas de conservação do solo e da água. Viçosa: UFV, 2003. 176p.
- PIRES, L. S. Sistemas de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso na região de Belo Oriente (MG). 2004. 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- POTE D.H.; SHARPLEY, A.N.; MOORE, P.A., EDWARDS, D.R.; NICHOLS. D.J; Relating extractable soil phosphorus to phosphorus losses in runoff. **SoilSci.** Soc. Am.j.60:855-859. 1996.

- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p
- RANEY, W.A. & ZINGG, A.W. Principles of tillage. In: **USDA. Yearbook of Agriculture**. Washington. p.277-281. 1957.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till. Res.*, 102:242-254, 2009.
- RICHARDSON, C. W.; KING, K. W. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 61, p. 81-86, 1995.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382, 1982.
- RUSSELL, RS. Mechanical impedance of root growth. In: - Plant root systems: their function and interaction with the soil. London, McGraw-Hill Book Company, 1977. 298 p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. O. 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 Ciências do Solo**, v.24, n.2, p.427-436, 2000.
- SEIXAS, F. Efeitos físicos da colheita mecanizada de madeira sobre o solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF; 2002. cap. 9, p.313-350.
- SHARPLEY, A. N., S. J. SMITH and J. W. NANEY..Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. **Journ. Agric. Food Chemistry** 35:812-817. 1987
- SHARPLEY, AX, L.W. REED, AND D.K. SIMMONS. Relationships between available soil P forms and their role in water quality modeling. *Oklahoma State Univ. Agnc. Exp. Stn. Bull.* T-157, 1982.
- SHARPLEY,A.N., TROEGER,W.W. AND SMITH,S.J.: The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.*, 20, 235-238, 1991.

- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade dos agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n. 2, p. 311-317, 1998.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I.; BRANCO, E.F. Levantamento nutricional de florestas de *Eucalyptus grandis* da região de Itatinga SP: 1- macronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. Anais. Viçosa: SBCS, 1995. p.896-898.
- 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.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. *Physical edaphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.
- TEDESCO, M. J. GIANELLO, C., BISSANI, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (UFRGS - Departamento de Solos. **Boletim Técnico**, 5).
- TISDALL J.M. & OADES J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal Soil Science*, 33:141-163, 1982.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Circular Técnica, 23).
- VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; AGUIAR, I.B. Efeitos de níveis de NPK e calcário dolomítico na produção volumétrica de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Científica*, v.19, n.1, p.63-70, 1991.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L. Atualização em plantio direto. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 163-178
- VOLK, L., COGO, N. & STRECK, E. 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**, 28, p.763–774, 2004.
- WICHERT, M.C.P. **Erosão hídrica e desenvolvimento inicial do *Eucalyptus grandis* em um agissolo vermelho amarelo submetido a diferentes métodos de preparo de solo no Vale do Paraíba-SP**. 2005. 83p. Dissertação (Mestrado em Recursos

- Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. **Agricultural Handbook**, 537.
- WISCHMEIER, W.H. Conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Ankeny, 1973. Proceedings. Ankeny, Soil Conservation Society of America, 1973. p.133-141.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. J. Am. Soc. Agron., vol. 28, p. 337-351, 1936.
- 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.

## 7 ANEXOS

Tabela 10. Valores de densidade, porosidade total, micro e macro em cada unidade experimental em 2011 (início do experimento).

PARCELA	Profundidade	Densidade do solo	POROSIDADE			
			TOTAL	MICRO	MACRO	
	Cm	g cm <sup>-3</sup>	%			
P1	SFD	0 – 5	1,08	62,38	51,33	11,04
		5 – 10	1,18	55,54	46,47	9,08
		10 – 20	1,36	54,80	47,40	7,40
		20 – 40	1,34	54,07	48,74	5,32
P2	SCD	0 – 5	1,27	58,04	46,33	11,71
		5 – 10	1,19	56,31	44,74	11,57
		10 – 20	1,25	55,89	45,49	10,40
		20 – 40	1,24	55,18	46,63	8,54
P3	CM	0 – 5	1,16	62,93	56,64	6,29
		5 – 10	1,29	55,82	49,48	6,34
		10 – 20	1,33	55,73	49,20	6,53
		20 – 40	1,31	53,88	47,20	6,68
P4	SFD	0 – 5	1,40	56,44	44,91	11,53
		5 - 10	1,39	57,80	48,87	8,93
		10 - 20	1,37	53,48	49,99	3,49
		20 - 40	1,41	52,63	49,01	3,62
P5	CM	0 - 5	1,14	65,64	54,98	10,67
		5 - 10	1,34	57,38	48,89	8,49
		10 - 20	1,33	53,98	48,01	5,97
		20 - 40	1,31	53,73	48,12	5,61
P6	SCD	0 - 5	1,25	59,38	51,02	8,36
		5 - 10	1,39	55,36	47,91	7,44
		10 - 20	1,32	53,32	48,81	4,51
		20 - 40	1,29	54,28	48,34	5,93

P7	SCD	0 - 5	1,13	60,76	43,20	17,56
		5 - 10	1,14	59,73	42,16	17,58
		10 - 20	1,13	54,81	42,21	12,60
		20 - 40	1,21	55,18	43,31	11,87
P8	SFD	0 - 5	0,88	67,64	49,18	18,47
		5 - 10	1,12	64,71	54,51	10,20
		10 - 20	1,37	52,52	47,53	4,99
		20 - 40	1,35	53,16	49,12	4,03
P9	CM	0 - 5	1,24	55,59	46,71	8,88
		5 - 10	1,37	54,49	48,24	6,24
		10 - 20	1,30	55,54	50,01	5,53
		20 - 40	1,52	50,42	45,64	4,78

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 11. Valores de densidade, porosidade total, micro e macro em cada unidade experimental em 2012 (final do experimento).

PARCELA	Profundidade	Densidade	POROSIDADE			
			TOTAL	MICRO	MACRO	
	cm	g cm <sup>-3</sup>		%		
P1	SFD	0 - 5	1,29	60,89	48,71	12,18
		5 - 10	1,33	58,69	48,71	9,98
		10 - 20	1,28	59,49	51,62	7,87
		20 - 40	1,31	57,18	50,78	6,40
P2	SCD	0 - 5	1,05	58,00	42,04	15,96
		5 - 10	1,34	65,40	51,24	14,16
		10 - 20	1,31	58,29	50,42	7,87
		20 - 40	1,31	58,40	50,60	7,80
P3	CM	0 - 5	1,24	57,64	46,22	11,42
		5 - 10	1,19	57,84	47,84	10,00
		10 - 20	1,28	55,64	46,67	8,98

		20 - 40	1,35	62,07	53,11	8,96
P4	SFD	0 - 5	1,40	65,89	49,80	16,09
		5 - 10	1,44	64,11	50,09	14,02
		10 - 20	1,44	52,16	46,16	6,00
		20 - 40	1,38	55,24	49,11	6,13
		0 - 5	1,51	59,02	49,40	9,62
P5	CM	5 - 10	1,53	55,67	48,64	7,02
		10 - 20	1,46	53,42	49,24	4,18
		20 - 40	1,45	50,82	47,69	3,13
		0 - 5	1,36	66,78	48,42	18,36
P6	SCD	5 - 10	1,36	66,73	48,98	17,76
		10 - 20	1,27	56,89	49,36	7,53
		20 - 40	1,40	53,98	48,24	5,73
		0 - 5	1,38	71,80	49,11	22,69
P7	SCD	5 - 10	0,98	67,62	48,11	19,51
		10 - 20	1,39	55,89	48,78	7,11
		20 - 40	1,36	56,64	50,31	6,33
		0 - 5	1,43	69,89	49,80	20,09
P8	SFD	5 - 10	1,41	63,24	50,07	13,18
		10 - 20	1,38	59,73	51,91	7,82
		20 - 40	1,37	56,80	51,13	5,67
		0 - 5	1,24	66,80	50,02	16,78
P9	CM	5 - 10	1,18	61,00	47,96	13,04
		10 - 20	1,31	56,84	49,87	6,98
		20 - 40	1,42	53,73	48,58	5,16

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 12. Análise estatística dos teores de C, P, K, Ca e Mg e Al na camada de 0-3 cm do solo, na linha de adubação, em cinco períodos nos três tratamentos, para uma floresta de *Eucalyptus benthamii* em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

DATA	SFD	SCD	CM	CV %
C orgânico (%)				
09/03/2011	2,85 bA	3,36 bA	2,96 aA	12,38%
12/06/2011	2,76 bA	2,92 bA	3,13 aA	19,38%
13/09/2011	2,45 bA	2,8 bA	2,37 aA	12,97%
10/12/2011	2,76 bA	3,36 bA	2,83 aA	15,51%
03/03/2012	3,43 aA	4,59 aA	3,31 aA	22,74%
CV (%)	14,42%	23,02%	21,97%	
P disponível (mg dm <sup>-3</sup> )				
09/03/2011	6,62 aB	3,76 abB	32,1 abA	109,97%
12/06/2011	3,38 aB	1,69 bB	30,6 abA	121,89%
13/09/2011	3,09 aAB	2,72 abB	12,4 bA	102,41%
10/12/2011	6,69 aB	4,81 aB	42,7 aA	112,42%
03/03/2012	2,42 aB	2,43 abB	22,6 abA	121,87%
CV (%)	68,29%	50,58%	51,30%	
K trocável (mg dm <sup>-3</sup> )				
09/03/2011	33,8 bB	92 aA	54,9 bcAB	65,80%
12/06/2011	22,3 bA	50,2 aA	22,3 cA	62,16%
13/09/2011	50,1 bA	105 aA	87,4 abA	54,30%
10/12/2011	48 bB	86,9 aA	63,9 bcB	30,63%
03/03/2012	86,6 aA	105 aA	120 aA	26,79%
CV (%)	62,32%	37,43%	62,46%	
Ca trocável				

(cmolc dm <sup>-3</sup> )							
09/03/2011	1,07	abA	1,17	aA	1,24	aA	36,60%
12/06/2011	1,35	aA	0,5	bA	1,06	abA	62,74%
13/09/2011	0,29	cA	0,24	bA	0,51	abA	78,17%
10/12/2011	0,48	bcA	0,45	bA	0,34	bA	42,66%
03/03/2012	0,91	acA	0,62	abA	0,63	abA	36,13%
CV (%)	59,73%		69,29%		70,61%		
Mg trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> )							
09/03/2011	0,47	abA	0,5	aA	0,45	abA	36,12%
12/06/2011	0,4	abA	0,29	aA	0,35	abA	62,01%
13/09/2011	1,2	aA	1,42	aA	0,57	aA	118,19%
10/12/2011	0,19	bA	0,17	aA	0,14	bcA	35,87%
03/03/2012	0,52	abA	0,44	aA	0,36	abA	33,93%
CV (%)	94,39%		167,09%		64,59%		
Al trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> )							
09/03/2011	6,64	aA	6,91	aA	6,84	aA	13,92%
12/06/2011	6,96	aA	6,81	aA	6,49	aA	5,70%
13/09/2011	6,42	aA	5,09	aA	5,31	aA	26,71%
10/12/2011	6,31	aA	6,44	aA	5,54	aA	11,97%
03/03/2012	6,52	aA	6,88	aA	6,35	aA	5,98%
CV (%)	11,48%		18,16%		15,37%		

Letras minúsculas, comparam as médias nas colunas. Teor de nutrientes nas diferentes épocas de análise. Letras maiúsculas, comparam as médias nas linhas. Diferença entre os três tratamentos. Foi utilizado Duncan a 5% de probabilidade

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 13. Análise estatística dos teores de C, P, K, Ca e Mg e Al na camada de 0-3 cm do solo, na entre-linha da adubação, em cinco períodos nos três tratamentos, para uma floresta de *Eucalyptus benthamii* em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

DATA	SFD	SCD	CM	CV %
P disponível (entre linha)				
%				
09/03/2011	4,6 bcA	4,8 aA	4,4 aA	8,48%
12/06/2011	3,1 bcA	4,6 aA	5 aA	71,05%
13/09/2011	10,2 aA	5,3 aA	13,7 aA	80,35%
10/12/2011	7,5 abA	6,4 aA	7,9 aA	13,90%
03/03/2012	1,7 cA	0,8 aA	1,6 aA	36,42%
CV (%)	48,74%	66,55%	104,88%	
C orgânico				
%				
09/03/2011	4,1 aA	3,3 aB	4,3 abA	6,64%
12/06/2011	4,2 aA	2,8 bA	3,2 abA	18,77%
13/09/2011	2,5 bA	2,8 bA	2,9 bA	13,13%
10/12/2011	3,3 abA	3,5 aA	3,9 ab A	20,73%
03/03/2012	4,3 aA	3,7 aA	4,6 aA	14,63%
CV (%)	19,77%	8,04%	20,14%	
K trocável				
%				
09/03/2011	40,9 bcA	40,7 bA	42,4 abA	23,58%
12/06/2011	27,3 cA	19,1 bA	31,2 bA	37,73%
13/09/2011	72 aA	45,6 bB	53,1 abAB	16,51%
10/12/2011	65,6 abA	40,1 bB	47,2 abB	11,26%
03/03/2012	88,4 aA	76 aA	78,5 aA	11,62%
CV (%)	24,58%	33,75%	35,89%	
Ca trocável				
(cmolc dm <sup>-3</sup> )				
09/03/2011	1,3 Aa	1,1 abA	0,9 aA	29,09%
12/06/2011	1,1 abA	1,7 aA	0,8 abA	58,74%

13/09/2011	0,2 bA	0,2 cA	0,2 bA	**
10/12/2011	0,3 bA	0,3 cA	0,4 abA	34,64%
03/03/2012	0,8 abA	0,8 bcA	0,6 abA	26,91%
CV (%)	59,80%	44,17%	51,55%	
Mg trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> )				
09/03/2011	0,5 aA	0,5 aA	0,4 aA	27,86%
12/06/2011	0,4 aAB	0,7 aA	0,3 aB	31,54%
13/09/2011	0,5 aA	0,5 aA	0,6 aA	115,33%
10/12/2011	0,2 aA	0,1 aA	0,2 aA	23,08%
03/03/2012	0,5 aA	0,5 aA	0,4 aA	19,84%
CV (%)	54,64%	73,55%	108,00%	
Al trocável (cmolc dm <sup>-3</sup> )				
09/03/2011	6,9 aA	7 aA	7,5 aA	5,78%
12/06/2011	6,5 aA	7,1 aA	6,9 abA	4,82%
13/09/2011	5,3 aA	7,1 aA	5,8 bA	18,22%
10/12/2011	5,7 aA	6,7 aA	6,2 abA	9,36%
03/03/2012	5,5 aA	6,7 aA	6,4 abA	10,41%
CV (%)	18,23%	10,60%	11,11%	

Letras minúsculas, comparam as médias nas colunas. Teor de nutrientes nas diferentes épocas de análise. Letras maiúsculas, comparam as médias nas linhas. Diferença entre os três tratamentos. Foi utilizado Duncan a 5% de probabilidade

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 14. Resultado de área basal, altura média, volume e IMIM para cada unidade experimental nos três tratamentos, para uma floresta de *Eucalyptus benthamii* em um Cambissolo Háplico alítico latossólico.

Parcela	Número Individuos	Área basal (m <sup>2</sup> )	Altura média (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	IMIM
		Dados das Parcela			Dados por hectare	
1 – SFD	44	0,42	7,76	1,32	45,82	22,909
2 – SCD	42	0,28	6,93	0,78	27,24	13,619
3 – CM	40	0,22	6,18	0,56	19,27	9,636
<b>Média bloco</b>	<b>42</b>	<b>0,31</b>	<b>6,95</b>	<b>0,89</b>	<b>30,78</b>	<b>15,388</b>
4 – SFD	45	0,26	6,69	0,71	24,59	12,296
5 – CM	45	0,25	7,16	0,72	25,1	12,549
6 – SCD	45	0,36	7,61	1,11	38,53	19,264
<b>Média bloco</b>	<b>45</b>	<b>0,29</b>	<b>7,15</b>	<b>0,85</b>	<b>29,41</b>	<b>14,703</b>
7 – SCD	44	0,35	7,99	1,13	39,38	19,688
8 – SFD	45	0,29	7,6	0,9	31,08	15,541
9 – CM	43	0,23	5,84	0,54	18,58	9,29
<b>Média bloco</b>	<b>45</b>	<b>0,29</b>	<b>7,14</b>	<b>0,85</b>	<b>29,68</b>	<b>14,84</b>

Fonte: Produção da própria autora.