DISSERTAÇÃO

EROSÃO DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE RAMPA E DA DIREÇÃO DE SEMEADURA

RENATO LEMOS E SILVA

Campinas, SP
2010

INSTITUTO AGRONÔMICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

EROSÃO DO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO: INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE RAMPA E DA DIREÇÃO DE SEMEADURA

RENATO LEMOS E SILVA

Orientadora: Isabella Clerici De Maria

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais

Campinas, SP
Abril 2010

Ficha elaborada pela bibliotecária do Núcleo de Informação e Documentação do Instituto Agronômico

S586 Silva, Renato Lemos e
Erosão do solo em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção da semeadura / Renato Lemos e Silva. Campinas, 2010. 83 fls

Orientadora: Isabella Clerici De Maria
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico

1. Erosão do solo 2. Sistema Plantio Direto 3. Erosão hídrica 4. Escoamento superficial 5. Semeadura direta I. De Maria, Isabella Clerici II. Título

CDD. 631.45

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRONÔMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br

INSTITUTO AGRONÔMICO

Curso de Pós-Graduação

Agricultura Tropical e Subtropical

Certificado de Aprovação

Título: **Erosão do solo em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura**

Aluno: **Renato Lemos e Silva**

Área de Concentração: **Gestão de Recursos Agroambientais**

Processo SAA nº: **12154/08**

Orientadora: **Dra. Isabella Clerici De Maria**

Aprovado pela Banca Examinadora:

Dra. Isabella Clerici De Maria - IAC

Dr. Zigomar Menezes de Souza - FEAGRI/UNICAMP

Dra. Sonia Carmela Falci Dechen - IAC

Campinas, 20 de abril de 2010

Visto:

Adriana Parada Dias da Silveira
Coordenadora
Pós-Graduação Instituto Agronômico

À Deus, pela vida e
Aos meus pais, Diogo e Terezinha,
exemplos de amor, carinho e perseverança.
DEDICO

Aos meus irmãos Maria Sílvia e Fábio,
À minha vó Sylvia, aos meus tios
e tias e aos meus primos pelo
apoio, incentivo e orações.
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- Ao Instituto Agronômico pela oportunidade de desenvolvimento profissional proporcionada pelo seu curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical e pela estrutura cedida para a realização deste trabalho;

- À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de mestrado;

- À PqC Drª Isabella Clerici De Maria, pela orientação e ensinamentos não só durante o mestrado, mas também nas iniciações científicas do PIBIC/CNPq/IAC e da FAPESP;

- Aos pesquisadores científicos do Centro de Solos e Recursos Ambientais Drª Sonia Carmela Falci Dechen, Drº Sidney Rosa Vieira, Drº Ricardo Marques Coelho, Drº Sandro Roberto Brancalião, Drº Cristiano Alberto de Andrade, Drº Márcio Koiti Chiba e Drº Estevão Vicaris Mellis pelas sugestões ao trabalho e pela convivência;

- Aos professores do curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical do IAC pelos ensinamentos e conselhos transmitidos;

- À secretaria da PG-IAC, obrigado pelas informações e pela atenção dispensada;

- À bibliotecária do IAC Vangri de Oliveira Camargo pelas orientações para elaboração da ficha catalográfica e para a pesquisa de artigos relativos a essa dissertação;

- Aos professores da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp Drº Zigomar Menezes de Souza, Drº Edson Eiji Matsura e Drª Mara de Andrade Marinho Weill pela atenção e conhecimentos transmitidos durante o estágio docência;

- À Laura Fernanda Simões da Silva e a Elisandra Amendola pela convivência e ajuda na realização das atividades relacionadas ao estágio docência;

- Aos funcionários do Centro de Solos Tonho, Carlão, Sr. Joãozinho e Anderson pela ajuda nas amostragens de campo; Luzia, Bete e Regina pela realização das análises físicas em laboratório; Renato Peron, Sílvia, Rachel e tia Sônia pela atenção e por facilitarem nossas atividades do dia-a-dia. Muito obrigado a todos vocês por dividirem e tornarem ambiente de trabalho mais agradável;

- À Francine Vinche, Ricardo Oda (Banzai), Natália Serrano, Jacqueline, Paulo Henrique (Puik), Renan Cremonesi, Leandro Barbosa, Renan Barros, Amanda Souto, Flávio Nascimento, Maria Fernanda Groth e outros tantos estagiários do Centro de Solos que ajudaram na coleta de dados no campo;

- Aos companheiros da Conservação do Solo César Nagumo (Japonês), Osvaldo, Luiz Niero, Ângelo, Carlinha, Rafael (Grilo), Carol e Thais pela convivência, troca de idéias e amizade;

- Aos amigos e companheiros da PG-IAC Gustavo (Becari), José Rafael (Zeka), Mariana, Ana Carolina (Carol), Ariana, Geísa, Vanessa, Júlia, Andrérika (Drika), Fernanda Miguel, Eduardo (Cajuru), Paulo (Pontêro), Willian, Leandro (Bira), Carlos Marcos (Marcão), Francelino, Camilla (Pocotó), Vera, Edivaldo (Juninho), Edson, Fabrício, Lívia, Sérgio, Cecília, Laís, Bárbhara e Simone Rizatto pela amizade e pelos bons momentos que passamos juntos;

- Aos amigos do IAC Johnny, João (Capadócia), Simone Lima, André, Lenita, Patrícia, Rodrigo, Francisco (Chico), Larissa entre outros que conheci nesses 5 anos de IAC;

- Aos amigos da faculdade Kelly (Mixiri-K), Ivan (Prego) e Felipe Fiorine;

- Às bibliotecárias do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar Gisele Zutin Castelani, Maria Helena Sachi do Amaral e Sônia Terezinha dos Reis que me indicaram o processo de seleção de bolsistas de iniciação científica do IAC, ainda durante a minha graduação em Engenharia Agronômica, e que também contribuíram para o enriquecimento desse trabalho disponibilizando materiais bibliográficos de difícil acesso.

- Aos professores do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar Drº José Geanini Peres, Drº Márcio Roberto Soares, Drª Maria Leonor R. C. Lopes Assad e Drª Luciana Thie Seki Dias, que me incentivaram a prosseguir no meio acadêmico ao final da graduação;

- Enfim, a todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e finalização desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS viii
LISTA DE FIGURAS x
LISTA DE ANEXOS xi
RESUMO xii
ABSTRACT xiii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO DE LITERATURA 2
2.1 Processo erosivo 2
2.2 Sistemas de manejo do solo 4
2.3 Sistema plantio direto 5
2.4 Terraceamento 9
2.4.1 Métodos de determinação do espaçamento entre terraços 11
2.4.2 Dimensionamento da seção transversal do canal dos terraços 19
2.5 Direção de semeadura 23
3 MATERIAL E MÉTODOS 25
3.1 Caracterização da área experimental 25
3.2 Manejo dos ensaios 28
3.3 Caracterização física do solo 30
3.4 Caracterização da superfície do solo 35
3.5 Indicadores fenológicos 37
3.6 Monitoramento das perdas de solo e água por erosão 37
3.7 Estimativa das perdas por erosão pela USLE 39
3.8 Seção transversal do canal dos terraços para os ensaios 41
3.9 Análise dos dados 42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
4.1 Caracterização física do solo 43
4.2 Caracterização da superfície do solo 49
4.3 Indicadores fenológicos 51
4.4 Perdas de solo e água por erosão 51
4.4.1 Perdas de água e solo no Ensaio 1 52
4.4.2 Perdas de água e solo no Ensaio 2 55
4.5 Estimativa das perdas por erosão pela USLE 59
4.6 Seção transversal do canal dos terraços para os ensaios 62
5 CONCLUSÕES 63
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64
ANEXOS 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de X em função do tipo de cultura, tipo de terraço e resistência do solo à erosão pela equação de Bentley. 11

Tabela 2 - Agrupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão e os respectivos valores de k. 14

Tabela 3 - Grupos de culturas e respectivos fatores de uso do solo (u). 15

Tabela 4 - Grupos de preparo do solo e manejo dos restos culturais com os respectivos valores do fator m. 15

Tabela 5 - Tolerância de perdas por erosão de alguns solos do Estado de São Paulo..... 17

Tabela 6 - Valores de coeficiente de enxurrada (*c*) para diferentes solos, usos e manejos. 21

Tabela 7 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. 26

Tabela 8 - Distribuição granulométrica e classificação textural do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. 26

Tabela 9 - Cálculo do fator C para as culturas da aveia preta e do milho cultivados em sistema plantio direto, para Campinas-SP. 40

Tabela 10 - Valor do fator P da Equação Universal de Perdas de Solo para algumas práticas conservacionistas..... 41

Tabela 11 - Valores médios de densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. 45

Tabela 12 - Valores médios de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica saturada do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. 46

Tabela 13 - Valores médios de porcentagem de agregados por classe de diâmetro e diâmetro médio ponderado (DMP) do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m. 46

Tabela 14 - Valores médios de resistência do solo à penetração, nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m e de teor de água no solo (*U*), nas profundidades de 0,00-0,20 e de 0,20-0,40 m do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas d dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. 47

Tabela 15 - Valores médios de teor de água (θ) no Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, durante 14 semanas de cultivo do milho, em 2009. 48

Tabela 16 - Índice de rugosidade aleatória do solo (RR) das parcelas dos ensaios 1 e 2 localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, 21 dias antes (DAS) e 9 dias depois da semeadura (DDS) do milho. 49

Tabela 17 - Valores médios de porcentagem de cobertura vegetal do solo nos ciclos da aveia preta e do milho nas parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. 50

Tabela 18 - Valores médios de rendimentos de matéria seca da parte aérea da soja e de grãos e de matéria seca da parte aérea da aveia preta e do milho das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. 51

Tabela 19 - Volume e frequência de chuvas erosivas, índice de erosividade da chuva (EI_{30}) e perdas de solo e água por erosão, medidos nas parcelas do Ensaio 1, por mês, ciclo cultural e total no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, localizado no Centro Experimental do IAC em Campinas, SP. ... 53

Tabela 20 - Volume e frequência de chuvas erosivas, índice de erosividade da chuva (EI_{30}) e perdas de solo e água por erosão, medidos nas parcelas do Ensaio 2, por mês, ciclo cultural e total no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, localizado no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. 56

Tabela 21 - Perdas de solo estimadas pela Equação Universal de Perdas de Solo, com o fator LS obtido pela equação de WISCHMEIER & SMITH (1978). 60

Tabela 22 - Perdas de solo estimadas pela Equação Universal de Perdas de Solo, com o fator LS obtido pela equação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2008). 60

Tabela 23 - Área da seção transversal do canal do terraço (*At*) das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP, obtida com o coeficiente de enxurrada (*c*) apresentado por LOMBARDI NETO et al. (1994). 62

Tabela 24 - Área da seção transversal do canal do terraço (*At*) das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP, obtida com o coeficiente de enxurrada (*c*) máximo determinado pela relação entre as perdas diárias de água e o volume diário de chuvas de 13/5/2008 a 12/5/2009. 63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem aérea da área dos ensaios 1 e 2, localizada no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. FONTE: GOOGLE (2009). 27

Figura 2 - Semeadura da aveia preta nos ensaios 1 e 2, em contorno (a) e no ensaio 2, morro abaixo (no sentido do declive) (b). 29

Figura 3 - Detalhe dos camalhões delimitadores das parcelas, no ensaio 1 (a) e no ensaio 2 (b). 29

Figura 4 - Semeadura do milho nos ensaios 1 e 2, em contorno (a) e no ensaio 2, morro abaixo (no sentido do declive) (b). 29

Figura 5 - Permeâmetro de carga constante modelo IAC (a); detalhe das mangueiras e da haste de ajuste da carga hidráulica (b). 31

Figura 6 - Agitador mecânico para peneiramento a seco (a); agregados selecionados de tamanho entre 9,52 e 4,00 mm (b); detalhe do peneiramento sob agitação lenta em água (c). 31

Figura 7 - Retirada do excesso de solo das extremidades do anel (a); anéis volumétricos exatamente preenchidos com solo e tampados para transporte (b). 33

Figura 8 - Amostras indeformadas em saturação, coletadas com anéis volumétricos e protegidos com disco de tecido (a); câmaras de Richards para determinação da retenção de água (b). 33

Figura 9 - Avaliação da porcentagem de cobertura vegetal da aveia preta (a) e do milho (b) pelo método fotográfico; imagens das coberturas vegetais da aveia preta (c) e do milho (d) após a classificação com o programa SisCob. 36

Figura 10 - Detalhamento do sistema coletor da enxurrada utilizado nas parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP. FONTE: Modificado de BERTONI & LOMBARDI NETO (2008). 38

Figura 11 - Médias mensais e distribuição do índice de erosividade da chuva (R), do período de 1954-1975, em Campinas-SP. FONTE: Modificado de LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992). 40

Figura 12 - Mapa de isoietas de chuvas máximas diárias, em mm, para período de retorno de 10 anos. FONTE: VIEIRA et al. (1991). 42

Figura 13 - Distribuição de frequência das chuvas (número de eventos) e volume mensal de chuvas (mm) no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. 52

Figura 14 - Relação entre índice EI_{30} e as perdas de água, por unidade de área, de 34 chuvas erosivas medidas nas parcelas do Ensaio 1, de 13/5/2008 a 12/5/2009, em Campinas-SP. 55

Figura 15 - Relação entre índice EI_{30} e as perdas de água, por unidade de área, de 28 chuvas erosivas medidas nas parcelas do Ensaio 2, de 13/5/2008 a 12/5/2009, em Campinas-SP. 59

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Médias mensais de volume de chuvas e temperatura do ar no período de 1961 a 1990, em Campinas-SP. FONTE: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica - IAC. 79

Anexo 2 - Volume de chuvas erosivas, perdas de água e coeficiente de enxurrada (*c*) diários para as parcelas do Ensaio 1, localizado no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP. 80

Anexo 3 - Volume de chuvas erosivas, perdas de água e coeficiente de enxurrada (*c*) diários para as parcelas do Ensaio 2, localizado no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP. 81

Anexo 4 - Estatística descritiva dos dados de caracterização física do Latossolo Vermelho Distroférrico típico em que foram instalados os ensaios, localizada no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP..... 82

Anexo 5 - Estatística descritiva dos dados de caracterização da superfície do solo e dos indicadores fenológicos das culturas, nos ensaios conduzidos em Latossolo Vermelho Distroférrico típico, no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP. 83

Erosão do solo em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção da semeadura

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) é considerado o mais eficiente sistema para controle da erosão em áreas de culturas anuais. Essa eficiência se deve ao não-revolvimento do solo e à cobertura vegetal que amortece o impacto direto das gotas de chuva na superfície, elimina o encrostamento superficial e mantém a capilaridade do solo, aumentando a infiltração e, conseqüentemente, reduzindo a enxurrada. Agricultores adeptos desse sistema não têm se preocupado com práticas conservacionistas complementares. Entretanto, problemas de erosão, com a formação de sulcos e ravinas, em áreas de semeadura direta vêm sendo observados, sugerindo que práticas mecânicas, como operações em contorno e terraceamento, são necessárias para o controle da erosão. O objetivo deste estudo foi gerar informações sobre erosão no sistema plantio direto que possam auxiliar no dimensionamento de um adequado sistema de terraceamento nesse sistema. O experimento foi realizado no Centro Experimental Central do Instituto Agronômico, em Campinas (SP), em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico, de textura argilosa, com 6% de declividade média, sob SPD há 6 anos, com as culturas de aveia preta e de milho, em parcelas com coletores de terra e de água perdidos por erosão. Foram dois ensaios: um com três comprimentos de rampa (25, 50 e 75 m) e outro com duas direções de semeadura (morro abaixo e em contorno) e dois comprimentos de rampa (50 e 75 m), nos quais foram realizadas a caracterização física e química do solo, da superfície do solo e de indicadores fenológicos das culturas. O efeito da direção de semeadura e do comprimento do declive na formação da enxurrada foi avaliado a cada chuva no período de 13/5/2008 a 12/5/2009. Também foram calculadas as perdas médias anuais de solo esperadas para as condições do estudo, com a Equação Universal de Perdas de Solo, e as seções transversais do canal dos terraços necessárias para o controle da enxurrada. Os valores de perda de solo, tanto os estimados como os medidos no campo ficaram abaixo dos níveis de tolerância, ratificando a eficiência do sistema plantio direto no controle da erosão hídrica. As perdas de solo (medidas e estimadas) foram mínimas, as perdas de água bastante reduzidas até 75 m de comprimento de rampa e a direção de semeadura não influenciou o controle das perdas de água (enxurrada).

Palavras-chave: erosão hídrica, escoamento superficial, perdas de terra, semeadura direta, terraceamento.

Soil erosion in no-tillage system: slope length and seeding direction effects

ABSTRACT

No-tillage system is considered the most efficient system for erosion control in annual crops plantations. This efficiency is due to low soil mobilization and residue cover that reduces direct impact of raindrops in the surface, eliminates surface crusting and keeps the capillarity of the soil, increasing infiltration and, consequently, reducing runoff. Farmers who followed this system have not been concerned with additional conservation practices. However, problems of erosion as development of rills and ravines under no-tillage have been observed, suggesting that mechanical practices, such as contouring and terraces are required for erosion control. The objective of this study was provide information about erosion in no-tillage system, in order to support the design of an adequate terracing system. The experiment was conducted in the Central Experimental Center of the Instituto Agronômico, in Campinas-SP, in a clayey Oxissol with a mean slope of 0.06 $m.m^{-1}$ under no-tillage system for 6 years, cultivated with black oat and corn, in runoff plots with soil and water collector system. Two trials were conducted: one with three slope length (25, 50 e 75 m) and other with two seeding direction (in contour and following downslope) and two slope length (50 e 75 m). Field description consisted of soil physical and chemical attributes; surface soil characteristics and crop phenological indicators. The effect of direction of sowing and the length of the slope in the formation of the runoff was evaluated every rain during the period 05/13/2008 to 05/12/2009. There was also calculated the average annual soil loss expected for the conditions of the study, with Equation Universal Soil Loss, and the cross sections of the canal terraces required to control runoff. The values of soil loss, both estimated and measured in the field, were below the tolerance levels, confirming the efficiency of no-tillage to control erosion. Soil losses (measured and estimated) were minimal, the water losses reduced up to 75 m slope length, and the seedling direction did not influence the control of water losses (runoff).

Key-words: no-tillage system, runoff, seeding direction, soil loss, terracing.

1 INTRODUÇÃO

A erosão do solo é ocasionada, em sua maior extensão, pela ação da água das chuvas e tem sido, nas condições de agricultura intensiva do Estado de São Paulo, um dos principais fatores de depauperamento acelerado da fertilidade do solo. As chuvas, quando não controladas convenientemente, desagregam o solo, arrastando quantidades consideráveis de sais minerais e matéria orgânica, agentes essenciais à sua fertilidade. Esse arrastamento, que se acentua com o aumento da declividade do terreno, poderá ocasionar, em certos tipos de solo, estragos irreparáveis, não só quanto à fertilidade, mas também quanto a própria conformação do terreno.

Preparos conservacionistas garantem uma camada de cobertura morta próxima à superfície do solo, formada por restos vegetais da colheita de culturas comerciais e/ou de plantas de cobertura ou adubos verde. As sementes e o fertilizante são depositados no solo através dessa camada de restos vegetais por semeadoras apropriadas. Tem-se, assim, o sistema plantio direto (SPD), considerado como o mais eficiente sistema para controle da erosão em áreas de culturas anuais. Tal eficiência se deve ao não-revolvimento do solo e à cobertura morta que amortece o impacto das gotas de chuva, elimina o encrostamento superficial e mantém a capilaridade do solo, aumentando a infiltração e, conseqüentemente, reduzindo a enxurrada (COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1997a; SEGANFREDO et al., 1997). Essas características, juntamente com a rotação de culturas no SPD, proporcionam também uma melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, devido ao aumento de conteúdo de matéria orgânica (SILVA et al., 2000).

A erosão é muito menor quando o sistema de manejo do solo é o sistema plantio direto. Essa é, aliás, a primeira motivação para a adoção do sistema: menor ocorrência de perdas de terra, água e nutrientes por erosão em relação aos sistemas convencionais (arados ou grades) de preparo do solo (DE MARIA, 1999). Essa redução da erosão, porém, tem induzido, erroneamente, os produtores a eliminarem os terraços das áreas de cultivo (DE MARIA, 1999; COGO et al., 2007; DENARDIN et al., 2008), apesar da polêmica e das discussões que essa prática tem gerado entre pesquisadores, agricultores e extensionistas. As razões alegadas para a eliminação dos terraços são a incorporação da área ocupada pelos terraços para cultivo, redução de manobras e aumento da eficiência de operações com trânsito de máquinas. De qualquer forma, em terraços em nível ou em gradiente e no SPD, ocorre acúmulo de água nos canais dos terraços quando ocorrem chuvas muito intensas ou muito prolongadas. Apesar de ser uma

técnica muito antiga e muito utilizada no controle da erosão, a recomendação para dimensionamento de terraços para o sistema plantio direto não está completamente elucidada.

Também nesse sistema, os produtores rurais têm negligenciado a semeadura em contorno, executando a semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do sentido do declive, dada a facilidade de trânsito das máquinas, embora apenas recentemente estudos sobre o efeito da direção da semeadura no SPD estejam sendo realizados (COGO et al., 2007).

Assim sendo, as hipóteses levantadas neste estudo foram: (1) No sistema plantio direto as perdas de solo são mínimas, mas as perdas de água (enxurrada) são significativas; (2) Com o SPD o espaçamento entre terraços pode ser ampliado; e (3) A semeadura em contorno é importante para reduzir a enxurrada no sistema plantio direto.

Em função dessas hipóteses, o objetivo desse trabalho foi determinar se o sistema plantio direto permite a semeadura no sentido do declive e espaçamentos entre terraços maiores que os atualmente recomendados para o controle das perdas de água e solo por erosão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processo erosivo

A erosão é a forma mais prejudicial de degradação do solo, pois além de reduzir a capacidade produtiva deste para as culturas, pode causar sérios danos ambientais, como o assoreamento e a poluição dos cursos de água (COGO et al., 2003). Segundo ELLISON (1963), a erosão inicia-se com a ruptura dos agregados do solo causada pela ação da energia cinética das gotas de chuva e da enxurrada; em seguida ocorre o transporte, principalmente pela ação da enxurrada; e a deposição do material erodido, última fase do processo erosivo, ocorre somente quando a carga de sedimentos excede a capacidade de transporte da enxurrada.

O processo de erosão hídrica pode ser dividido em erosão entressulcos e erosão em sulcos, dependendo das condições superficiais em que ocorre e da forma de atuação do agente erosivo (ELLISON, 1963). A erosão entressulcos é descrita, segundo PEREIRA et al. (2003), como o processo de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas da chuva, pelo transporte no escoamento de lâmina rasa e pela

liberação de sedimentos para os pequenos sulcos ou canais. A erosão em sulcos é resultante do acúmulo da enxurrada em pequenas irregularidades no sentido do declive do terreno, a ponto de atingir volume e velocidade suficientes para formar canais mais ou menos profundos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008). Ela é função da capacidade do escoamento em desprender os sedimentos, da sua capacidade de transporte e da carga de sedimentos existentes no escoamento (FLANAGAN et al., 1995), sendo a maior parte do solo perdida em pequenos sulcos que se formam devido à concentração do escoamento superficial (TISCARENO-LOPEZ et al., 1993). A erosão em sulcos é, também, a forma de erosão mais característica e por isso mesmo mais percebida em áreas submetidas ao processo erosivo (CARVALHO et al., 2009).

O processo de erosão hídrica do solo pela água da chuva é condicionado por seis fatores principais: regime de chuvas, tipo de solo, topografia, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas de suporte (WISCHMEIER & SMITH, 1978; HUDSON, 1995; CASSOL et al., 2007). Esses fatores foram reunidos por WISCHMEIER & SMITH (1978) e apresentados na forma da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (Universal Soil Loss Equation), que é dada pela equação:

$$A = R \,.\, K \,.\, L \,.\, S \,.\, C \,.\, P \qquad (1)$$

em que A = perda média anual de solo por erosão hídrica (Mg ha^{-1} ano^{-1}); R = fator erosividade da chuva e do escoamento superficial associado, isto é, habilidade potencial da chuva e do escoamento superficial em causar erosão (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}); K = fator erodibilidade do solo, isto é, vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo à erosão (Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1}); L = fator comprimento do declive (adimensional); S = fator declividade do terreno (adimensional); C = fator manejo de solo e de culturas (adimensional); e P = fator práticas conservacionistas de suporte (adimensional).

O fator potencial erosivo das chuvas (erosividade) e as características topográficas da área (comprimento da pendente e inclinação do declive) constituem o componente energético capaz de produzir erosão e, os fatores erodibilidade do solo (tipo de solo), cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas constituem o componente dissipador de energia (DENARDIN et al., 2005). A erosão é, portanto, o trabalho mecânico resultante da ação da energia incidente sobre determinada superfície de terra, que foi apenas parcialmente dissipada (DENARDIN et al., 1998). Assim, por mais favorável que seja o nível de um ou mais destes fatores, a erosão final numa dada área poderá ser alta, em função do nível desfavorável de um ou mais dos outros fatores

(COGO et al., 2007). Na Equação Universal de Perdas de Solo, o produto dos fatores erosividade (R) e erodibilidade (K) equivale à máxima perda de solo e esta perda pode ser reduzida em função de alterações nos fatores comprimento de rampa (topografia), cobertura e manejo do solo ou práticas conservacionistas (CASTRO, 2001).

2.2 Sistemas de manejo do solo

O preparo do solo destaca-se como uma das operações agrícolas mais importantes no processo de produção das plantas cultivadas (AMARAL et al., 2008). Segundo LARSON & GILL (1973) citados por MELLO et al. (2003), ele visa favorecer a germinação das sementes, o crescimento e desenvolvimento das plantas, facilitar o movimento de água e ar, controlar plantas indesejáveis e, às vezes, auxiliar no manejo dos resíduos culturais. Nos solos ácidos e pobres em nutrientes, o preparo pode objetivar, ainda, a incorporação de corretivos químicos (MELLO et al., 2003). Em adição, ele é o principal responsável pela criação das condições físicas superficiais do solo que, em última análise, determinam a eficácia de redução da erosão e do escoamento superficial dos diversos sistemas de manejo empregados no estabelecimento de uma cultura, em um local (AMARAL et al., 2008).

Na classificação dos sistemas de manejo do solo, os preparos convencionais são todos aqueles no quais são usados arados e grades para preparar a terra para o cultivo (AMARAL et al., 2008). Eles rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo-se negativamente na resistência dos agregados do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Ocorre uma redução da densidade do solo e um aumento no volume de macroporos nos primeiros centímetros de solo preparado (BERTOL et al., 2000b), o que favorece a permeabilidade, o armazenamento de ar e o crescimento das raízes das plantas nessa camada (BRAUNACK & DEXTER, 1989).

Por outro lado, esses implementos incorporam quase todos os resíduos culturais ao solo, praticamente eliminando sua cobertura por esses materiais, o que facilita a desagregação das partículas pelo impacto das gotas de chuva e o seu transporte pela enxurrada (HUDSON, 1995; LINDSTROM et al., 1998). A ausência de cobertura deixa a superfície vulnerável ao selamento superficial, o que pode reduzir a taxa de infiltração de água no solo (DULEY, 1939; BEUTLER et al., 2003; COGO et al., 2003; LEITE et al., 2004 AMARAL et al., 2008). A rugosidade superficial, que normalmente é alta logo após a operação de preparo do solo, aumentando o armazenamento da água,

é rapidamente diminuída nesse sistema, favorecendo a ocorrência de escoamento superficial e de grandes perdas por erosão (BURWELL & LARSON, 1969; COGO, 1981; BERTOL et al., 1997a; LINDSTROM et al., 1998; CASTRO et al., 2006).

Os preparos de solo conservacionistas, representados principalmente pelo sistema plantio direto e cultivo mínimo, caracterizam-se pela pequena movimentação mecânica do solo, manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície e, com exceção do plantio direto, elevação da rugosidade superficial (COGO, 1981; COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1987, 1997a, 2006; CASTRO et al., 2006).

O cultivo mínimo ou reduzido do solo é o sistema de preparo executado com escarificador, seguido ou não de gradagem, que produz uma elevada rugosidade superficial e mantém a maioria dos resíduos culturais na superfície (COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1997a; SCHICK et al., 2000). De acordo com a ASAE (2005), por utilizar um menor número de operações que o preparo convencional, o cultivo mínimo promove uma inversão menor das camadas do solo e reduz os custos de preparo do solo.

2.3 Sistema plantio direto

O sistema plantio direto (SPD), desenvolvido com o propósito de se alcançar a sustentabilidade da produção agrícola, é um sistema de manejo conservacionista constituído de práticas que envolvem, necessariamente, rotação de culturas, mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura e cobertura permanente do solo (CASSOL et al., 2007). Trata-se de um conjunto de técnicas que revolucionaram a agricultura brasileira, pois resultam em aumentos na produtividade das principais culturas produtoras de grãos e na preservação e melhoria da capacidade produtiva do solo (SALTON et al., 1998), pela redução da erosão, reciclagem de nutrientes, atividade biológica e manejo de resíduos culturais (CERETTA et al., 2002).

O não-revolvimento do solo e os resíduos culturais deixados sobre a superfície do solo amortecem o impacto das gotas de chuva, eliminam o encrostamento superficial e mantém a capilaridade do solo, aumentando a infiltração e, conseqüentemente, reduzindo a enxurrada (COGO et al., 1984; BERTOL et al., 1997a; SEGANFREDO et al., 1997). Apesar da baixa rugosidade superficial que proporciona, esse sistema possibilita o ancoramento dos resíduos nas soqueiras das culturas e, ainda, promove a consolidação da estrutura superficial do solo (DISSMEYER & FOSTER, 1981), o que aumenta a tensão crítica de cisalhamento e, conseqüentemente, a resistência do solo à erosão hídrica (BERTOL, 1995; SCHICK et al., 2000).

O SPD também melhora a qualidade estrutural e a fertilidade do solo, devido ao maior incremento de matéria orgânica (FERNANDES et al., 1983; CASTRO FILHO et al., 1998; GONÇALVES et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2003), que aumenta o tamanho e a estabilidade dos agregados (COSTA et al., 2003), a aeração e a capacidade de retenção de água do solo (SILVA et al., 2000), eleva a disponibilidade de nutrientes para as plantas (DE MARIA et al., 1999) e para os microrganismos do solo e reduz a variação dos valores de pH do solo (poder tampão da acidez) (SILVA et al., 2000).

Na adoção do sistema plantio direto, a boa formação de cobertura vegetal na superfície do solo antes da implantação da cultura é um requisito indispensável (ALMEIDA, 1991; ALVARENGA et al., 2001). Segundo CERETTA et al. (2002), o sucesso do SPD depende da manutenção de sistemas capazes de gerar quantidades de matéria seca suficientes para manter o solo coberto durante todo o ano, o que significa que áreas destinadas às culturas de primavera-verão não devem permanecer em pousio durante o inverno. Assim sendo, a escolha das espécies para introdução nos sistemas de culturas depende da adaptação dessas espécies às condições de clima de cada região e do interesse do produtor (CERETTA et al., 2002). Em regiões com boa distribuição de chuvas ao longo do ano, como o Sul do Brasil, ou sob irrigação, isso não é difícil. A situação é mais complexa nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do Nordeste, onde o clima é caracterizado por um inverno seco, com encurtamento do fotoperíodo, o que dificulta o estabelecimento de plantas nessa época do ano (ALVARENGA et al., 2001). Para viabilizar o SPD nessas condições têm-se estudado e utilizado culturas como aveia preta, milheto, sorgo granífero e forrageiro e braquiárias, imediatamente após a colheita das culturas de verão ou em agosto-setembro com as primeiras chuvas da primavera, com o objetivo específico de produção de massa (OLIVEIRA et al., 2002; MENEZES & LEANDRO, 2004; SODRÉ FILHO et al., 2004; KLIEMANN et al., 2006; TIMOSSI et al., 2007; TORRES et al., 2008).

Em trabalhos recentes sobre erosão nesse sistema, BRAIDA & CASSOL (1999) obtiveram correlação entre a cobertura com palha e a redução da erosão em entressulcos e BERTOL et al. (1997b) destacaram que um manejo com 60% de cobertura promove uma redução de 80% nas perdas de solo em relação ao manejo com ausência de cobertura. ALVES et al. (1995), por sua vez, constataram que a redução das perdas de solo por erosão é mais dependente da persistência do resíduo vegetal sobre o solo que a redução da velocidade da enxurrada e das perdas de água.

Devido a essas características, tem sido observado que o SPD é o sistema de manejo mais eficiente para controle das perdas de solo e água por erosão em áreas de

culturas anuais. Em seus estudos, BENATTI JÚNIOR et al. (1983) comprovaram a superioridade do sistema plantio direto sobre o convencional na redução das perdas por erosão em milho, em dois solos de São Paulo: Podzolizado de Lins e Marília, variação Marília e Latossolo Roxo (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho respectivamente, segundo EMBRAPA, 2006). No primeiro, em terreno com 10,8% de declividade, o SPD reduziu em 40% as perdas de água e em 75% as de solo, em relação ao convencional. Já no segundo, com declividade de 6,3%, houve redução nas perdas de água e de solo de 34 e 59%, respectivamente.

Com o objetivo de quantificar as perdas por erosão em quatro sistemas de preparo sob chuva natural, HERNANI et al. (1997) realizaram estudo em um Latossolo Roxo (Latossolo Vermelho, segundo EMBRAPA, 2006), de textura muito argilosa, em Dourados-MS. As perdas médias de solo e água, relativas aos sistemas de plantio direto, escarificação e gradagem niveladora, gradagem pesada e gradagem niveladora e aração com arado de discos e duas gradagens niveladoras sem cobertura vegetal foram, respectivamente, 0,8; 2,8; 5,3 e 7,3 Mg ha^{-1} ano^{-1} e 27, 80, 112 e 149 mm ano^{-1}.

Comparando diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo em um Cambissolo Húmico alumínico argiloso sob chuva natural SCHICK et al. (2000) relataram que a semeadura direta, na média da rotação e sucessão de culturas, reduziu as perdas de solo em 52, 68 e 98% em relação à escarificação associada à gradagem, aração seguida de duas gradagens e aração mais duas gradagens no solo sem cultura, nessa ordem. As perdas de água comportaram-se de maneira semelhante às perdas de solo, diferindo quanto à magnitude dos valores de redução (18, 51 e 69%).

Na avaliação das perdas por erosão em quatro sistemas de preparo, com algumas combinações de rotação de culturas no inverno e no verão, durante 5 anos em um Latossolo Vermelho aluminoférrico muito argiloso sob chuva natural, BEUTLER et al. (2003) verificaram que a semeadura direta com rotação de culturas reduziu em 99% as perdas de solo em relação ao preparo de solo convencional sem cultura. Em comparação com o preparo de solo convencional no verão seguido de semeadura direta no inverno, a redução foi de 46%. As perdas anuais de água foram pequenas e apresentaram desempenhos similares às perdas de solo quanto à eficácia dos tratamentos (95 e 78%), mantendo uma relativa dependência com os volumes anuais de chuva precipitadas.

Em um estudo sobre perdas por erosão de seis sistemas de manejo do solo em um Nitossolo Háplico alumínico, de textura argilosa sob chuva simulada, LEITE et al. (2004) relataram que, na média dos cultivos de milho e feijão, a semeadura direta sobre

resíduos dessecados em solo previamente preparado reduziu as perdas de solo e água em 96 e em 68% em relação ao sistema de preparo convencional (uma aração mais duas gradagens sobre resíduos dessecados).

Estudando as perdas de nutrientes em termos financeiros em três sistemas de manejo do solo durante 11 anos de cultivo em um Cambissolo Húmico alumínico léptico, de textura argilosa sob chuva natural BERTOL et al. (2007a) verificaram que a semeadura direta reduziu as perdas de solo em 88% em relação ao preparo convencional, enquanto as perdas de água foram reduzidas em 57%, na média dos valores anuais.

A redução da erosão com o uso do sistema plantio direto, porém, tem induzido, erroneamente, os produtores a eliminarem, das áreas de cultivo, os terraços e outras práticas conservacionistas de suporte, como a semeadura em contorno (DE MARIA, 1999; COGO et al., 2007; DENARDIN et al., 2008). Tal procedimento baseia-se na idéia de que, com o SPD, a erosão e o escoamento superficial serão totalmente controlados nas lavouras agrícolas, dispensando qualquer outra prática adicional (COGO et al., 2007). Dessa forma, pode-se incorporar a área ocupada pelos terraços para cultivo, reduzir as manobras e aumentar a eficiência de operações com trânsito de máquinas (DE MARIA, 1999). Em decorrência, o terraceamento passou a ser considerado desnecessário e indiscriminadamente desfeito, levando ao abandono da semeadura em contorno e à adoção da semeadura paralela ao maior comprimento da gleba, independentemente do sentido do declive (DENARDIN et al., 2008).

O não-revolvimento do solo no sistema plantio direto, aliado ao tráfego de máquinas, provoca compactação da camada superficial que se traduz por aumento da densidade do solo e redução da porosidade total, devido à diminuição do volume de macroporos (SIDIRAS et al., 1982; BERTOL et al., 2000b; 2004; GARCIA & RIGHES, 2008). Essas alterações nas propriedades físicas do solo, associadas à reduzida rugosidade superficial, podem ser desfavoráveis à infiltração de água (CAMARA & KLEIN, 2005), produzindo grandes enxurradas, especialmente sob certas combinações de situações, tais como solos de alta erodibilidade, umidade antecedente e precipitações elevadas, longos comprimentos de rampa e, ou, maiores inclinações do terreno e ausência de práticas conservacionistas de suporte, que poderão ocasionar em perdas de solo relativamente elevadas no SPD (MORAIS & COGO, 2001; BERTOL et al., 2007a).

O SPD tem uma eficiência menor no controle da enxurrada que no controle das perdas de solo em relação ao sistema convencional, como observado por ELTZ et al.

(1984); COGO et al. (2003) e MELLO et al. (2003). ELTZ et al. (1984) avaliaram o efeito de sistemas de uso e manejo do solo nas perdas por erosão durante quatro anos, em solo 'São Pedro' (Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo Vermelho-Amarelo, segundo EMBRAPA, 2006), de textura média, com 9% de declive, no Estado do Rio Grande do Sul. Na média do período, o sistema com aveia e milho em sucessão nos dois primeiros anos e com tremoço e milho em sucessão nos dois últimos anos sob sistema plantio direto reduziu as perdas de solo e água em 69 e 30% em relação ao mesmo sistema sob preparo convencional. Já para o mesmo esquema de sucessão com as culturas de cevada e soja e aveia e soja, a redução com o SPD foi de 54 e 14% para as perdas de solo e água, respectivamente.

Em estudo com três métodos de preparo do solo, estabelecidos em três classes de declividade e dois níveis de fertilidade em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico muito argiloso COGO et al. (2003) verificaram que as perdas de solo foram mais elevadas no preparo convencional (8,61 Mg ha^{-1}), intermediárias no preparo reduzido (3,78 Mg ha^{-1}) e mais baixas na semeadura direta (1,18 Mg ha^{-1}), independentemente dos tratamentos estudados. No mesmo trabalho as perdas de água foram todas muito baixas e similares, sendo maiores no preparo convencional (54,3 mm), intermediárias na semeadura direta (42,5 mm) e menores no preparo reduzido (37,9 mm).

Comparando as perdas por erosão em diferentes sistemas de manejo, em um Nitossolo Háplico de textura argilosa sob chuva simulada MELLO et al. (2003) observaram que o sistema plantio direto de soja sobre campo natural dessecado reduziu as perdas de solo e água em 98 e 21% em relação ao sistema de preparo convencional (uma aração mais duas gradagens sobre resíduo de aveia dessecada e semeadura da soja).

Esses resultados indicam a necessidade de se conter a enxurrada nas lavouras, mesmo que elas estejam sobre sistema plantio direto (BERTOL et al., 2007a; 2007b). Isso pode ser feito aumentando a infiltração da água no solo (ELTZ et al., 1984), pela implantação e, ou, manutenção de práticas conservacionistas de suporte como o terraceamento e a semeadura em contorno (BERTOL et al., 2007a).

2.4 Terraceamento

O terraceamento é uma das práticas conservacionistas de suporte mais difundidas entre os agricultores brasileiros para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas (MIRANDA et al., 2004; PRUSKI et al., 2006), sendo constituído por terraços

e, às vezes, canais escoadouros (BERTOL et al., 2000a). Os terraços são estruturas compostas por um dique ou camalhão e um canal, construídos perpendicularmente ao declive, com o objetivo de reduzir o volume e a velocidade da enxurrada, o que reduz as perdas de solo por erosão, as quais são depositadas no canal (BERTOL et al., 2000a). Esta prática é necessária em muitas áreas agrícolas onde técnicas mais simples, como o plantio em nível, as culturas em faixas ou a rotação de culturas, por si só não são suficientes para a eficaz proteção do solo contra a erosão hídrica (LOMBARDI NETO et al., 1989).

De acordo com LOMBARDI NETO et al. (1994) e PRUSKI et al. (2006) os terraços agrícolas são classificados quanto à sua função, construção, dimensão e forma. Funcionalmente, dois são os tipos básicos de terraço: em nível ou de infiltração e em desnível ou com gradiente ou de drenagem. Quanto à construção, em função da movimentação de terra, os terraços podem ser do tipo Nichols e do tipo Mangum, diferindo quanto ao sistema de tomba-mento do solo. Três são as denominações de terraços quanto à dimensão: base estreita, base média e base larga. E quanto à forma, podem ser denominados como terraço comum e terraço patamar.

Embora o terraceamento seja uma prática conservacionista muito conhecida e utilizada para controle da erosão hídrica (PRUSKI et al., 2006), tanto que, em muitas regiões brasileiras, conservação do solo teve, ou ainda tem como sinônimo a construção de terraços (FERNANDES, 1989; DE MARIA, 1999), o problema da erosão continua ocorrendo nas faixas de terra situadas entre os terraços (LOMBARDI NETO et al., 1994). Em alguns casos, a erosão é muito agravada devido ao rompimento destes por ocasião de chuvas muito intensas e, ou, prolongadas, o que pode levar à destruição dos demais terraços que estiverem a jusante, acarretando grandes prejuízos para a área cultivada (LOMBARDI NETO et al., 1994; GRIEBELER et al., 2000; PRUSKI et al., 2006). O custo de construção e manutenção de um sistema de terraceamento é relativamente alto, portanto, antes da adoção dessa tecnologia deve ser feito um estudo criterioso das condições locais de clima, solo, relevo do terreno, culturas a serem implantadas, sistema de cultivo e equipamentos disponíveis, para que se tenha segurança e eficiência no controle da erosão (LOMBARDI NETO et al., 1994; MIRANDA et al., 2004; PRUSKI et al., 2006).

O dimensionamento de sistemas de terraceamento consiste em determinar duas de suas características: o espaçamento entre terraços e a seção transversal destes (PRUSKI et al., 2006), seja para armazenamento quanto para condução de água (LOMBARDI NETO et al., 1994).

2.4.1 Métodos de determinação do espaçamento entre terraços

O espaçamento entre terraços se expressa em termos de diferença de nível, em metros, entre dois terraços sucessivos, podendo também, ser designado pela distância horizontal entre eles (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008). Segundo BERTOL et al. (2000a) a distância entre terraços deve ser tal que a enxurrada não alcance velocidade erosiva entre eles. Já para PRUSKI et al. (2006) tal espaçamento corresponde ao comprimento crítico de rampa para o qual o escoamento superficial não alcance energia suficiente para proporcionar perdas acima do limite tolerável.

Diferentes metodologias utilizadas para estabelecer o espaçamento entre terraços no Brasil encontram-se disponíveis na literatura, as quais são normalmente funções da declividade do terreno e das características do solo (GRIEBELER et al., 2005).

Segundo EMBRAPA (1980), a fórmula de espaçamento entre terraços mais utilizada no Brasil é a de Bentley, cujo espaçamento vertical é dado pela seguinte equação:

$$EV = \left(2 + \frac{D}{X}\right).0{,}305 \qquad (2)$$

em que *EV* é o espaçamento vertical entre terraços, em metros; *D* é a declividade do terreno, em porcentagem; e *X* é um fator que varia com a natureza do solo e de sua resistência à erosão, com o tipo de cultura e com o tipo de terraço utilizado, vide tabela 1.

Tabela 1 - Valores de X em função do tipo de cultura, tipo de terraço e resistência do solo à erosão pela equação de Bentley.

Culturas Perenes		Culturas Anuais		Valores
Com gradiente	Sem gradiente	Com gradiente	Sem gradiente	de X
Alta	-	-	-	1,5
Média	-	-	-	2,0
Baixa	Alta	-	-	2,5
-	Média	-	-	3,0
-	Baixa	Alta	-	3,5
-	-	Média	-	4,0
-	-	Baixa	Alta	4,5
-	-	-	Média	5,0
-	-	-	Baixa	5,5

Alta = solos argilosos, Média = solos de textura média, Baixa = solos arenosos.
FONTE: Modificado de EMBRAPA (1980).

A fórmula de Bentley (EMBRAPA, 1980) pode ser considerada uma fórmula empírica, pois engloba em um único valor de *X* vários fatores que afetam as perdas por erosão sem se basear, contudo, em pesquisas válidas por todo o país (OLIVEIRA et al., 1992), mas em equações desenvolvidas para as condições de solo e clima dos Estados Unidos (NRCS, 2003).

Utilizando dados de perdas por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, numa média de dez anos de observações, em talhões com diferentes comprimentos de rampa e graus de declive, com culturas anuais, BERTONI (1959) determinou uma equação para o cálculo das perdas médias de solo denominada "Índice de Erosão":

$$E = 1{,}03 \,.\, D^{0,65} \,.\, C^{0,87} \qquad (3)$$

onde *E* é o índice de erosão (adimensional); *D* é a declividade do terreno, em porcentagem; e *C* é o comprimento do declive, em metros. Como o terraceamento se baseia, essencialmente, no efeito do grau de declive e do comprimento de rampa, a partir desse índice BERTONI (1959) propôs a seguinte equação para a determinação do espaçamento vertical entre terraços:

$$EV = 0{,}4518 \,.\, k \,.\, D^{0,58} \qquad (4)$$

onde *EV* é o espaçamento vertical, em metros; *D* é a declividade do terreno, em porcentagem; e *k* é uma constante que depende do tipo de solo, sendo igual a 0,835 para solos arenosos; 0,954 para solos argilosos; e 1,212 para terra roxa. Assim como na equação de Bentley (EMBRAPA, 1980), para o uso dessa fórmula devem ser conhecidos o tipo de solo (arenoso, argiloso ou terra roxa) e a declividade do terreno, sendo 20% o valor máximo correspondente à declividade (PRUSKI et al., 2006).

Segundo LOMBARDI NETO et al. (1994) uma área com terraços mal dimensionados pode apresentar maiores problemas de erosão que outra não protegida. Isso pode ocorrer devido o terraço ser utilizado como prática conservacionista isolada; o espaçamento entre terraços ser determinado a partir de tabelas empíricas adaptadas de outros países, com um pequeno e insuficiente número de informações; pela maior facilidade de locação e implantação, os terraços, em sua maioria, serem locados em nível, indiscriminadamente; nos solos com horizonte B latossólico, o uso intensivo e

inadequado de máquinas e implementos pesados ocasionar a formação de uma camada compactada e pouco permeável a uma profundidade de 0,10 a 0,20 m; as tabelas utilizadas não considerarem o tipo de uso da terra, tipo de cultura e tipo de preparo do solo e manejo dos restos culturais; e o terraço frequentemente ser construído com seção transversal menor que a necessária, fazendo com que, em solos pouco permeáveis, este não tenha capacidade suficiente para reter toda a água por ocasião de enxurradas maiores (LOMBARDI NETO et al., 1994).

Tendo em vista as razões citadas, esses autores propuseram uma metodologia para a determinação do espaçamento entre terraços, a partir de dados de pesquisas sobre perdas de solo e água por erosão (BERTONI, 1959; 1972; 1978), considerando a cobertura vegetal, os sistemas de preparo do solo, o manejo de resíduos culturais e a erodibilidade de classes de solo identificadas em levantamentos pedológicos. Embora a quantidade de dados utilizados para o estabelecimento da nova tabela de espaçamento para terraços possa ser ainda considerada insuficiente, esta apresenta um maior suporte técnico que as antigas (LOMBARDI NETO et al., 1994). O espaçamento vertical (EV) entre terraços para essa metodologia é estimado pela seguinte equação:

$$EV = 0{,}4518 \,.\, k \,.\, D^{0{,}58} \,.\left(\frac{u+m}{2}\right) \qquad (5)$$

em que *EV* é o espaçamento vertical entre terraços, em metros; *D* é a declividade do terreno, em porcentagem; *k* é um índice que depende do tipo de solo (adimensional); *u* é o fator uso do solo (adimensional); e *m* é o fator preparo do solo e manejo dos restos culturais (adimensional). Os índices *k*, *u*, e *m* são obtidos por meio dos parâmetros de entrada tipo de solo, tipo de cultura e, condições de preparo do solo consultados nas tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Outra metodologia de uso recomendado para o cálculo do espaçamento entre terraços está baseada na utilização da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) ou de sua versão revisada (RUSLE), ambas expressas pela equação 1 (WISCHMEIER & SMITH, 1978), que, reorganizada para esse objetivo, é assim apresentada:

$$LS = \frac{A}{R \,.\, K \,.\, C \,.\, P} \qquad (6)$$

Tabela 2 - Agrupamento de solos segundo suas qualidades, características e resistência à erosão e os respectivos valores de k.

Grupo	Grupos de resistência à erosão	Profundidade	Permeabilidade (Horizonte A / Horizonte B)	Textura (Horizonte A / Horizonte B)	Razão Textural	Solos		k
						SNPA [1]	SBCS [2]	
A	Alta	Muito profundo (> 2 m) ou profundo (1 a 2m)	Rápida/rápida Moderada/rápida	Média/média Muito argilosa/muito argilosa Argilosa/argilosa	<1,2	LR, LE, LV, LVr,LVt, LH, LEa e LVa	LV, LVA, CX e LA	1,25
B	Moderada	Profundo (1 a 2 m)	Rápida/rápida Rápida/moderada	Arenosa/arenosa Arenosa/média Arenosa/argilosa Média/argilosa Argilosa/muito argilosa	1,2 a 1,5	Lj, LVP, PV, PVL, Pln, TE, PVls, R, RPV, RLV, LEa [3] e LVa [5]	LVA, CX, PVA, PV, NX, MT e RQ	1,10
C	Baixo	Profundo (1 a 2 m) ou moderadamente profundo (0,5 a 1 m)	Lenta/rápida Lenta/moderada Rápida/moderada	Arenosa/média [4] Média/argilosa [4] Arenosa/argilosa Argilosa/muito argilosa	> 1,5	Pml, PVp, PVls, Pc e M	PVA, PV, NV e MT	0,90
D	Muito Baixo	Moderadamente profundo (0,5 a 1 m) ou raso (0,25 a 0,5 m)	Rápida/moderada Lenta/lenta	Muito variável	Muito variável	Li-b, Li-ag, gr, Li-fi, Li-ac e PVp (rasos)	RL, PVA, PV e NV	0,75

Classificação do solo de acordo com [1] Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960) e [2] Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, EMBRAPA (2006); [3] Média da percentagem de argila do horizonte B (excluindo B3) sobre média da percentagem de argila de todo horizonte A; [4] Somente com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B; [5] Somente aqueles com horizonte A arenoso.

FONTE: Tabela adaptada de LOMBARDI NETO et al. (1994).

Tabela 3 - Grupos de culturas e respectivos fatores de uso do solo (u).

Grupo	Culturas	u
1	Feijão, mandioca e mamona	0,50
2	Amendoim, algodão, arroz, alho, cebola, girassol e fumo	0,75
3	Soja, batatinha, melancia, abóbora, melão e leguminosas para adubação verde	1,00
4	Milho, sorgo, cana-de-açúcar, trigo, aveia, centeio, cevada, outras culturas de inverno e frutíferas de ciclo curto como o abacaxi	1,25
5	Banana, café, citros e frutíferas permanentes	1,50
6	Pastagens e/ou capineiras	1,75
7	Reflorestamento, cacau e seringueira	2,00

FONTE: LOMBARDI NETO et al. (1994).

Tabela 4 - Grupos de preparo do solo e manejo dos restos culturais com os respectivos valores do fator m.

Grupo	Manejo do Solo		Restos Culturais	m
	Preparo Primário	Preparo Secundário		
1	Grade aradora (ou pesada) ou enxada rotativa	Grade niveladora	Incorporados ou queimados	0,50
2	Arado de disco ou aiveca	Grade niveladora	Incorporados ou queimados	0,75
3	Grade leve	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,00
4	Arado escarificador	Grade niveladora	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,50
5	Não tem	Plantio sem revolvimento do solo, roçadeira, rolo-faca, herbicidas (plantio direto)	Superfície do terreno	2,00

FONTE: LOMBARDI NETO et al. (1994).

Para aplicação da equação é necessário estimar os fatores erosividade da chuva (*R*), erodibilidade do solo (*K*), uso e manejo do solo (*C*) e práticas conservacionistas de suporte (*P*) para as condições de interesse (PRUSKI et al., 2006). O valor da perda média anual de solo por erosão hídrica (*A*) utilizado será o correspondente ao limite de perdas de solo tolerável conforme o tipo de solo considerado, como por exemplo, os apresentados na tabela 5 por LOMBARDI NETO & BERTONI (1975b).

A intensidade da erosão hídrica é afetada tanto pela distância ao longo do qual se processa o escoamento superficial quanto pela declividade do terreno (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008), representadas na USLE pelos fatores *L* e *S*, respectivamente (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Na prática, esse dois efeitos são considerados, conjuntamente na USLE, por meio de um termo designado fator topográfico *LS* (WISCHMEIER & SMITH, 1965). Ele representa a relação entre as perdas de solo em uma área com um declive e um comprimento de encosta quaisquer e as perdas que ocorrem em uma parcela unitária padrão, com 22,13 m de comprimento e 9% de declividade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). De acordo com esses autores, o fator *LS* pode ser determinado experimentalmente ou estimado pela seguinte equação:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22{,}13} \right)^{m} . \left(65{,}41 . sen^{2}\theta + 4{,}56 . sen\,\theta + 0{,}065 \right) \qquad (7)$$

em que λ é o comprimento de rampa, em metros; θ é a inclinação do terreno, em graus e *m* é um parâmetro de ajuste que varia em razão da declividade da encosta, sendo igual 0,5 para declividade maior ou igual a 5%; 0,4 para declividade de 3,5 a 4,5%; 0,3 para declividade de 1 a 3%; e 0,2 para declividade menor que 1%.

BERTONI & LOMBARDI NETO (2008) utilizando dados obtidos por BERTONI (1959) ajustaram a seguinte equação para o cálculo do fator topográfico *LS*:

$$LS = 0{,}00984 . \lambda^{0{,}63} . D^{1{,}18} \qquad (8)$$

em que λ é o comprimento de rampa onde ocorre o escoamento superficial, em metros; e *D* é a declividade da encosta, em porcentagem.

Tabela 5 - Tolerância de perdas por erosão de alguns solos do Estado de São Paulo.

Solos	Tolerância de perdas de solo	
	Amplitude Observada	Média
	— Mg ha^{-1} ano^{-1} —	
Com B textural		
Podzólico Vermelho-Amarelo, orto (1)	5,2 a 7,6	6,6
Podzólico Vermelho-Amarelo, v. Piracicaba (1, 2, 3)	3,4 a 11,2	7,9
Podzólico Vermelho-Amarelo, Laras (1)	6,9 a 13,4	9,1
Podzólico com cascalho (1)	2,1 a 6,6	5,7
Podzolizado Lins e Marília, v. Lins (1)	3,8 a 5,5	4,5
Podzolizado Lins e Marília, v. Marília (1)	3,0 a 8,0	6,0
Mediterrâneo Vermelho-Amarelo (2, 3, 10)	9,8 a 12,9	12,1
Terra Roxa estruturada (2, 3)	11,6 a 13,6	13,4
Com B Latossólico		
Latossolo Roxo (4)	10,9 a 12,5	12,0
Latossolo Vermelho-Escuro, orto (4)	11,5 a 13,3	12,3
Latossolo Vermelho-Escuro, f. arenosa (4)	13,4 a 15,7	15,0
Latossolo Vermelho-Amarelo, orto (5)	12,5 a 12,8	12,6
Latossolo Vermelho-Amarelo, f. rasa (5, 7)	4,3 a 12,1	9,8
Latossolo Vermelho-Amarelo, f. arenosa (5)	13,6 a 15,3	14,2
Latossolo Vermelho-Amarelo, f. terraço (5, 6)	11,1 a 14,0	12,6
Latossolo Vermelho-Amarelo, húmico (5)	10,9 a 11,5	11,2
Solos de Campos do Jordão (5, 7)	4,6 a 11,3	9,6
Solos pouco desenvolvidos		
Litossolo (8)	1,9 a 7,3	4,2
Regossolo (9)	9,7 a 16,5	14,0

FONTE: LOMBARDI NETO & BERTONI (1975b).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006): (1) Argissolo Vermelho-Amarelo; (2) Argissolo Vermelho; (3) Nitossolo Vermelho; (4) Latossolo Vermelho; (5) Latossolo Vermelho-Amarelo; (6) Latossolo Amarelo; (7) Cambissolo Háplico; (8) Neossolo Litólico; (9) Neossolo Quartzarênico; (10) Chernossolo Argilúvico**.**

Ao substituirmos o valor do fator *LS* obtido na equação 6 nas equações 7 e 8, têm-se duas equações para o cálculo do comprimento de rampa (λ), que corresponde ao espaçamento horizontal (*EH*) de uma área terraceada, em metros:

$$EH = 22{,}13 . \left[\frac{LS}{(65{,}41 . sen^2\theta + 4{,}56 . sen\,\theta + 0{,}065)} \right]^{1/m} \qquad (9)$$

$$EH = \left(\frac{LS}{0{,}00984 \,.\, D^{1{,}18}} \right)^{1/0{,}63} \qquad (10)$$

Embora essa metodologia constitua importante alternativa para o cálculo do espaçamento entre terraços, à medida que considera os diversos fatores que interferem no processo erosivo, o seu emprego para as condições brasileiras tem restrições, em razão dos limitados bancos de dados para se estimar os diversos fatores considerados na equação 6 (PRUSKI et al., 2006).

Uma vez calculado o espaçamento vertical entre terraços por qualquer uma das metodologias apresentadas, o espaçamento horizontal (*EH*), em metros, será dado pela seguinte equação:

$$EH = EV \,.\, \frac{100}{D} \qquad (11)$$

Tanto a metodologia desenvolvida por LOMBARDI NETO et al. (1994) quanto a da USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978) permitem a alteração dos valores de espaçamento horizontal entre terraços por meio da mudança do manejo do solo. Isso também ocorre com a mudança do uso do solo, uma vez que as culturas diferem quanto à cobertura que proporcionam ao solo (BERTONI et al., 1986; SILVA et al., 1986). Já as metodologias de Bentley (EMBRAPA, 1980) e de BERTONI (1959) são restritas quanto à diversificação dos parâmetros uso e manejo do solo.

A principal diferença entre essas metodologias está no fato da USLE considerar a erosividade das chuvas (fator R), o que não acontece nos métodos de Bentley (EMBRAPA, 1980), BERTONI (1959) e LOMBARDI NETO et al. (1994). A tolerância de perda de solo é outro parâmetro empregado pela USLE e não considerado pelos outros três métodos. Os espaçamentos entre terraços determinados por essa metodologia representam os valores máximos permitidos, com base nas características naturais apresentadas em campo, com a intenção de se perder em terra a mesma quantidade que representa a tolerância do solo (SALES, 1998). Assim, a USLE disponibiliza uma maior distância de seus espaçamentos que os obtidos pelos métodos de Bentley (EMBRAPA, 1980), BERTONI (1959) e LOMBARDI NETO et al. (1994), podendo ser maiores ao possibilitar alterações e interações dos parâmetros que a compõe (SALES, 1998).

Analisando apenas as metodologias que não empregam a erosividade da chuva e a tolerância de perda de solo na determinação do espaçamento entre terraços, GRIEBELER et al. (2000) verificaram que a equação de Bentley (EMBRAPA, 1980) fornece as menores estimativas de espaçamento vertical entre terraços e, conseqüentemente, os maiores custos de terraceamento. As metodologias de BERTONI (1959) e LOMBARDI NETO et al. (1994) apresentam estimativas de espaçamento entre terraços 10,8 e 35% maiores que as obtidas pela fórmula de Bentley (EMBRAPA, 1980), respectivamente, na média das sub-bacias e das classes de declividade avaliadas, o que reduz o número de terraços locados (GRIEBELER et al., 2000).

De acordo com o mesmo estudo é importante ressaltar que embora as equações de BERTONI (1959) e LOMBARDI NETO et al. (1994) aumentem os espaçamentos entre terraços diminuindo, conseqüentemente, os custos, há um aumento também da área de coleta de água da chuva. Esse fator, para regiões com altas intensidades de precipitação, comuns em climas tropicais, provocará um maior volume de escoamento superficial podendo, em conseqüência, provocar o rompimento dos terraços acarretando, desta forma, grandes prejuízos as áreas agrícolas (GRIEBELER et al., 2000), tendo em vista a concentração do deflúvio superficial em estreita faixa no sentido do maior declive (LOMBARDI NETO et al., 1994).

Outro ponto observado por GRIEBELER et al. (2000) é que o menor espaçamento entre terraços permitirá, devido ao menor volume de escoamento de água coletado, que a seção transversal do terraço possa ser inferior àquelas obtidas para grandes espaçamentos, reduzindo o número de passadas de máquina para a sua construção. Desta forma, o custo de implantação do sistema de terraceamento é dependente do espaçamento vertical entre terraços, não podendo ser estimado corretamente sem considerar a seção transversal necessária para contenção do escoamento superficial produzido na área (GRIEBELER et al., 2000).

2.4.2 Dimensionamento da seção transversal do canal dos terraços

Uma vez definido o espaçamento entre terraços, é necessário dimensionar a área da seção transversal dos mesmos, em função do volume de água possível de ser escoado pela superfície do terreno situada imediatamente acima do terraço. Parte da água da chuva que cai na superfície do solo se infiltra e o excedente escoa pela superfície, sendo recolhido pelo terraço. Se em nível, o terraço deverá reter todo o volume de água escorrida para posterior infiltração, porém, se em desnível, deverá dar vazão ao deflúvio

superficial de forma disciplinada, sem causar problemas de erosão (LOMBARDI NETO et al., 1994).

A seção transversal do terraço é geralmente menos precisamente definida e especificada que qualquer outro dreno ou canal, pois é construída com maquinaria agrícola cujo controle não é possível e porque ela se modifica quando operações de preparo e cultivo são conduzidas (LOMBARDI NETO et al., 1994), o que resulta em erros grosseiros do seu valor (PRUSKI et al., 2006). Assim sendo, para uma determinação mais adequada da mesma é fundamental conhecer o volume máximo de escoamento superficial (no caso de terraços em nível) ou a vazão máxima da enxurrada (no caso de terraços com gradiente) (PRUSKI et al., 2006).

O primeiro passo, no dimensionamento da seção transversal, é determinar o período de retorno das chuvas máximas (recorrência) desejado, que permitirá calcular o tamanho mais econômico da área da seção transversal. Segundo LOMBARDI NETO et al. (1994) ela pode ser calculada para a chuva de maior intensidade já registrada naquele local, sobretudo quando vidas humanas correm risco, no entanto, economicamente é preferível, apesar dos riscos, dimensioná-la para um período de retorno menor, em torno de 10 anos (CRUCIANI, 1989), que já apresenta um bom nível de segurança para a estimativa da enxurrada e que proporciona maior redução nos custos, aumento da área cultivada e facilidade de manejo.

De acordo com LOMBARDI NETO et al. (1994) a seção transversal de terraços em nível deve ser dimensionada para suportar todo o volume de enxurrada esperado, permitindo seu armazenamento e infiltração. Esse tipo de terraço é recomendado para solos dos grupos hidrológicos A e B (Tabela 2), pois os mesmo têm condições, desde que bem manejados, de infiltrar toda a água escoada. O volume de enxurrada esperado é dado pela equação:

$$V = A \,.\, h \,.\, c \qquad (12)$$

em que V é o volume máximo da enxurrada, em m³; A é a área a ser drenada entre terraços, em m²; h é a chuva diária máxima para o período de retorno escolhido, em metros; e c é o coeficiente de enxurrada (adimensional).

Segundo LOMBARDI NETO et al. (1994) o coeficiente de enxurrada c é uma relação entre as quantidades de enxurrada e de chuva e seu valor depende principalmente da declividade do terreno, do tipo de solo, da vegetação, do preparo do solo e manejo dos resíduos culturais, conforme a tabela 6.

A área a ser drenada (A) em m²/metro linear de terraço é dada por:

$$A = EH \,.\, 1{,}00 \qquad (13)$$

em que EH é o espaçamento horizontal entre terraços, em metros.

Tabela 6 - Valores de coeficiente de enxurrada (c) para diferentes solos, usos e manejos.

Cobertura Vegetal	Declividade do terreno	Grupo de solos(1)			
		A	B	C	D
	%				
Floresta	0 a 5	0,10	0,20	0,30	0,40
	5 a 10	0,25	0,30	0,40	0,50
	10 a 30	0,30	0,40	0,50	0,60
Pastagem	0 a 5	0,10	0,20	0,30	0,40
	5 a 10	0,15	0,30	0,40	0,55
	10 a 30	0,25	0,35	0,50	0,60
Cultivos	0 a 5	0,30	0,40	0,50	0,60
	5 a 10	0,40	0,50	0,60	0,70
	10 a 30	0,50	0,60	0,70	0,80

(1) Classificação conforme tabela 2.
FONTE: Modificado de LOMBARDI NETO et al. (1994).

Substituindo-se a equação 13 na equação 12 obtemos o volume máximo de enxurrada (V), em m³ por metro linear, que corresponde a área da seção transversal do terraço em nível (At):

$$At = EH \,.\, h \,.\, c \qquad (14)$$

Para o dimensionamento da seção transversal do terraço com gradiente, LOMBARDI NETO et al. (1994) destacam que os princípios de hidráulica de fluxo em canais abertos devem ser considerados. Nesse caso a intensidade máxima da enxurrada que pode ocorrer é o parâmetro mais importante. O processo mais simples para o seu cálculo é o método racional, por meio da seguinte equação:

$$Q_{\max} = \frac{c \,.\, I_m \,.\, A}{360} \qquad (15)$$

em que Q_{max} é a vazão máxima do escoamento superficial, em $m^3\ s^{-1}$; c é o coeficiente de enxurrada, adimensional (Tabela 6); I_m é a intensidade máxima da chuva, em $mm\ h^{-1}$; e A é a área a ser drenada, em hectares.

A intensidade máxima da chuva que resulta na enxurrada máxima é aquela que cai num tempo igual ao tempo de concentração da bacia (t_c) (LOMBARDI NETO et al., 1994). Ela é obtida a partir da relação de intensidade, duração e freqüência da precipitação, expressa pela equação:

$$i_m = \frac{K \,.\, T^{\,a}}{(t+b)^{\,c}} \qquad (16)$$

em que i_m é a intensidade máxima média da precipitação, em $mm\ h^{-1}$; T é o período de retorno escolhido, em anos; K, a, b, c são parâmetros da equação de chuvas intensas relacionados com a localidade de interesse (adimensionais) e t é o tempo de concentração (t_c), em minutos.

Os terraços em gradiente apresentam em geral comprimento de 500 a 600 m, e o seu desnível interno pode chegar a 0,7%, sendo mais comum o de 0,3%. Para evitar a ocorrência de erosão ou excesso de deposição no fundo do canal do terraço, a velocidade da enxurrada do mesmo deve variar entre 0,6 e 0,75 $m\ s^{-1}$ (LOMBARDI NETO et al., 1994). Em função dessas condições, calcula-se o valor do tempo de concentração (t_c) pela equação definida como SCS - método cinemático (PRUSKI et al., 2006), expressa a seguir:

$$t_c = \frac{1000}{60} \sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{V_i} \qquad (17)$$

em que L_i é a distância percorrida no trecho considerado ou o comprimento do terraço, em km; e V_i é a velocidade média da enxurrada para o mesmo trecho de terraço, em $m\ s^{-1}$.

Determinada a vazão máxima do escoamento superficial por meio da equação 15, a seção transversal do canal dos terraços com gradiente será dada por:

$$A_t = \frac{Q_{max}}{V_i} \quad (18)$$

As dimensões dos taludes somente poderão ser determinadas com a escolha do formato do terraço (LOMBARDI NETO et al., 1994), a qual normalmente é feita de acordo com o equipamento existente na propriedade (PECHE FILHO et al., 1989).

2.5 Direção de semeadura

A direção de semeadura das culturas em relação ao declive modifica as condições superficiais do solo quanto ao manejo da água da enxurrada, pois acarreta mudanças principalmente na orientação da rugosidade superficial e, conseqüentemente, na capacidade de armazenamento de água, de retenção de sedimentos na superfície do solo e na erosão hídrica (SILVA et al., 1986; COGO et al., 2007).

A semeadura em direção à pendente do terreno pode proporcionar um aumento de até 100% nas perdas de solo em relação à semeadura em contorno, em especial nos sistemas de manejo convencional do solo (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Os sulcos abertos paralelamente ao declive (morro abaixo) funcionam como canais escoadouros, nos quais a água da enxurrada se concentra ao longo do comprimento de rampa, desagregando e transportando o solo com maior energia (LUCIANO et al., 2009).

A semeadura em contorno consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal ao declive, em curvas de nível ou linhas em contorno (LOMBARDI NETO, 1994). Cada fileira de plantas, assim como os pequenos sulcos e camalhões de terra que as máquinas de preparo e cultivo do solo deixam na superfície do terreno, constitui um obstáculo que se opõe ao percurso livre da enxurrada, diminuindo sua velocidade e capacidade de arrastamento (SILVA et al., 1986; BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008) e aumentando a infiltração (COGO et al., 2007; LUCIANO et al., 2009).

Essas características conferem à semeadura realizada em contorno maior eficiência no controle da erosão hídrica que a semeadura executada morro abaixo (LUCIANO et al., 2009), que pode variar em função de fatores como o tipo de solo e a declividade do terreno (LOMBARDI NETO, 1994). Avaliando diferentes práticas conservacionistas para o controle da erosão na cultura do milho em um solo Litólico Eutrófico (Neossolo Litólico, segundo EMBRAPA, 2006), de textura franco arenosa sob chuva natural em Caruaru-PE, MARGOLIS et al. (1985) relataram que, na média de

9 anos, as perdas de solo e água na semeadura em contorno foram 36 e 21% menores respectivamente que as perdas obtidas com a semeadura morro abaixo.

Outras trabalhos realizados sob chuva natural na cultura do milho, como o de ANDRADE et al. (1999) em Latossolo Vermelho Amarelo Álico, de textura argilosa e o de CARVALHO et al. (2009) em Argissolo Vermelho Amarelo, também de textura argilosa, mostraram que em comparação com a semeadura morro abaixo a semeadura em contorno reduziu as perdas de solo em 80 e 69% e as de água em 40 e 28% respectivamente.

Estudando o efeito de diferentes coberturas vegetais e práticas conservacionistas no controle da erosão durante 3 anos sob chuva natural em Terra Roxa Estruturada eutrófica (Nitossolo Vermelho, segundo EMBRAPA, 2006), de textura franco-argilo-arenosa SILVA et al. (1986) verificaram que o cultivo em nível reduziu as perdas de solo e água, na cultura do algodão, em 59 e 29% respectivamente, em relação ao cultivo executado morro abaixo, na média do período.

Resultados favoráveis a semeadura em contorno também foram observados por ALBUQUERQUE et al. (2002) com a cultura da palma, em um Luvissolo Hipocrômico Órtico vértico, de textura argilosa, sob chuva natural em Sumé-PB. Na média de 6 anos, as perdas de solo e de água nessa direção de semeadura foram 53 e 20% menores respectivamente que as obtidas na semeadura morro abaixo.

A semeadura em contorno apresenta desempenhos semelhantes aos observados sob chuva natural, quanto às perdas por erosão, também nas condições de chuva simulada. Em um Argissolo Vermelho distrófico típico, de textura franco arenosa, cultivado com milho COGO et al. (2007) relataram que as reduções nas perdas de solo e água, na ausência de cobertura vegetal na superfície do solo, foram de 74 e 26% respectivamente, em relação a semeadura realizada no sentido do declive. Na presença de cobertura superficial formada por resíduos de aveia preta houve uma redução de 20% nas perdas de água com a semeadura em contorno, mas não foram observadas diferenças entre as direções de semeadura quanto às perdas de solo, devido à proteção da superfície pelos resíduos culturais.

Comparando o efeito da direção de semeadura nas perdas por erosão em um Cambissolo Húmico alumínico léptico, de textura argilosa LUCIANO et al. (2009) verificaram que, nas culturas de aveia preta e ervilhaca, a semeadura em contorno reduziu as perdas de solo em 12 e 56% e as de água em 32 e 48% respectivamente, em relação a semeadura paralela ao declive, na média de 5 teste de chuva simulada.

Dentre as práticas simples, o plantio em nível, além de constituir uma medida de controle da erosão, proporciona maior facilidade e eficiência no estabelecimento de outras práticas complementares baseadas na orientação em nível (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na área dos sistemas coletores de erosão em culturas anuais do Centro Experimental Central do Instituto Agronômico (IAC), localizada em Campinas, SP, na latitude 22º 51' Sul e longitude 47º 04' Oeste, com altitude aproximada de 650 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é uma transição entre os tipos Cwa e Cfa (ROLIM et al., 2007), definido como tropical de altitude com inverno seco e verão úmido, com temperatura média anual de 21,7 °C e precipitação média é de 1.381 mm anuais, com 76,5% desse volume entre outubro e março (Anexo 1).

O experimento foi estabelecido em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico (EMBRAPA, 2006), de textura argilosa, com 6% de declividade média. As características químicas e texturais desse solo foram obtidas, de acordo com as metodologias de RAIJ et al. (2001) e CAMARGO et al. (1986), de uma amostra composta por 15 subamostras extraídas aleatoriamente de cada uma das parcelas dos ensaios, na profundidade de 0,00-0,20 m e podem ser observadas na tabelas 7 e 8. A área em questão vem sendo conduzida em sistema plantio direto desde 2002/2003, com semeadora-adubadora de discos duplos concêntricos e cultivo da rotação soja ou milho no verão e sorgo, aveia, chícharo ou triticale no outono/inverno. Antes da implantação desse sistema, a área foi preparada com uma escarificação, duas gradagens pesadas e uma gradagem niveladora.

De acordo com as recomendações de LOMBARDI NETO et al. (1994), o valor do espaçamento horizontal entre terraços para esse solo com culturas anuais sob sistema convencional é de 26,6 m, adotando-se para o cálculo do espaçamento vertical (Equação 5) os valores 1,25; 1,25 e 0,75 para os fatores *k*, *u* e *m* conforme as tabelas 2, 3 e 4, respectivamente. Para o SPD o fator preparo do solo e manejo dos restos culturais (*m*) é igual a 2,00; assim, essa equação indica que o espaçamento entre terraços

pode ser ampliado (43,2 m) em relação ao convencional, embora seus valores ainda não tenham sido testados no atual pacote tecnológico desse sistema, incluindo uma quantidade maior de palha em cobertura.

Tabela 7 - Caracterização química do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Tratamentos	MO	pH $CaCl_2$	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
	g dm^{-3}	-	mg dm^{-3}	$mmol_c$ dm^{-3}						%
				Ensaio 1						
25 m	32	4,9	64	4,2	35	16	42	55,2	97,5	57
50 m	30	4,8	32	3,6	27	12	42	42,6	84,9	50
75 m	34	4,8	38	4,2	28	14	47	46,2	93,2	50
Média	32	4,8	44,7	4,0	30	14	43,7	48,0	91,9	52,3
CV (%)	6,3	1,2	38,1	8,7	14,5	14,3	6,6	13,5	7,0	7,7
				Ensaio 2						
MA – 50 m	32	5,0	85	4,4	38	16	38	58,4	96,5	61
MA – 75 m	33	4,8	105	3,3	39	20	52	62,3	114,5	54
EC - 50 m	29	4,5	59	3,3	26	13	52	42,3	94,5	45
EC - 75 m	34	4,7	56	3,7	29	13	47	45,7	92,7	49
Média	32	4,8	76,3	3,7	33	15,5	47,3	52,2	99,6	52,3
CV (%)	6,8	4,4	30,4	14,1	19,6	21,4	14,0	18,5	10,1	13,2

Tabela 8 - Distribuição granulométrica e classificação textural do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Tratamentos	Areia Total	Silte	Argila	Classe textural
		g kg^{-1}		-
		Ensaio 1		
25 m	382	168	450	Argila
50 m	365	160	475	Argila
75 m	350	175	475	Argila
Média	366	168	467	
CV (%)	4,4	4,7	3,1	
		Ensaio 2		
MA - 50 m	242	183	575	Argila
MA - 75 m	259	191	550	Argila
EC - 50 m	283	192	525	Argila
EC - 75 m	318	182	500	Argila
Média	275	187	538	
CV (%)	12,0	2,8	6,0	

Com base nessas informações foram estabelecidos dois ensaios para avaliar o efeito do comprimento do declive e da direção de semeadura nas perdas de solo e água por erosão, durante o ano agrícola 2008/2009. No Ensaio 1 a semeadura das culturas foi realizada em contorno (EC), assim como vem sendo feito desde a implantação do SPD, em parcelas de 8 m de largura por 25, 50 e 75 m de comprimento de rampa. No Ensaio 2 a semeadura das culturas foi executada morro abaixo (MA) e em contorno (EC), em parcelas de 25 m de largura por 50 e 75 m de comprimento de rampa (Figura 1). As avaliações começaram com a cultura da aveia preta no outono/inverno de 2008 (13/5/2008), prosseguiram com a cultura do milho no verão 2008/2009, sendo concluídas ao final do período de um ano agrícola (12/5/2009).

Figura 1 - Imagem aérea da área dos ensaios 1 e 2, localizada no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP. FONTE: GOOGLE (2009).

3.2 Manejo dos ensaios

Antes da implantação dos ensaios foi feita a dessecação química das plantas daninhas da área experimental com uma mistura dos herbicidas glifosato (4 L ha^{-1}) e 2,4-D amina (1 L ha^{-1}), após a colheita da soja cultivada no verão 2007/2008. No dia 13 de maio de 2008, sete dias após a dessecação, realizou-se a semeadura da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb cv. Comum), com uma semeadora-adubadora Marchesan, modelo Super Tatu SDA², no espaçamento 0,30 m entre linhas e com uma densidade de 60 sementes $metro^{-1}$, com adubação NPK 8-28-16 na base de 150 kg ha^{-1}. Essa operação foi executada conforme as direções de semeadura estabelecidas para cada um dos ensaios (Figura 2). Após a semeadura da aveia preta foram refeitos os camalhões de terra delimitadores das parcelas dos ensaios que conduzem a enxurrada (água e sedimentos) até os tanques coletores (Figura 3).

Durante o ciclo da aveia preta foram controladas as plantas infestantes de folha larga com a aplicação de 5 g ha^{-1} de metsulfuron-metil (25/6/2008) e uma semana depois foi realizada a adubação de cobertura com 100 kg ha^{-1} de sulfato de amônio. Aos 144 dias de cultivo foi executada a colheita mecânica da aveia preta dos ensaios.

No período entre a colheita da aveia preta e a instalação da cultura de verão (pousio) foram realizados os seguintes manejos na área dos ensaios: passagem de roçadeira para melhorar a distribuição dos resíduos vegetais (palha) nas parcelas (14/10/2008); aplicação de 6 L ha^{-1} de glifosato para controle das plantas daninhas (11/11/2008); e correção da acidez do solo em superfície com 2,5 Mg ha^{-1} de calcário (19/11/2008), de acordo com a caracterização química do solo realizada em julho de 2008.

A semeadura do milho (*Zea mays* L., híbrido BM 810) foi feita 6 dias após a calagem superficial, no espaçamento 0,90 m entre linhas e 0,17 m entre plantas, com adubação NPK 6-21-12 na proporção de 300 kg ha^{-1}, com uma semeadora-adubadora Jumil, modelo Exacta air 2680 PD. A direção de semeadura foi igual à executada no estabelecimento da aveia preta no outono/inverno de 2008 (Figura 4), assim como a manutenção do camalhões de terra das parcelas após a semeadura do milho (9/12/2008).

Os tratos culturais realizados durante o ciclo do milho foram: adubação de cobertura com 150 kg ha^{-1} de uréia (22/12/2008) e capina manual acima das soleiras coletoras de enxurrada das parcelas nos dias 14 e 15 de janeiro de 2009. A colheita mecanizada do milho dos ensaios foi realizada 6 dias antes do término do ano agrícola do experimento (12/5/2009).

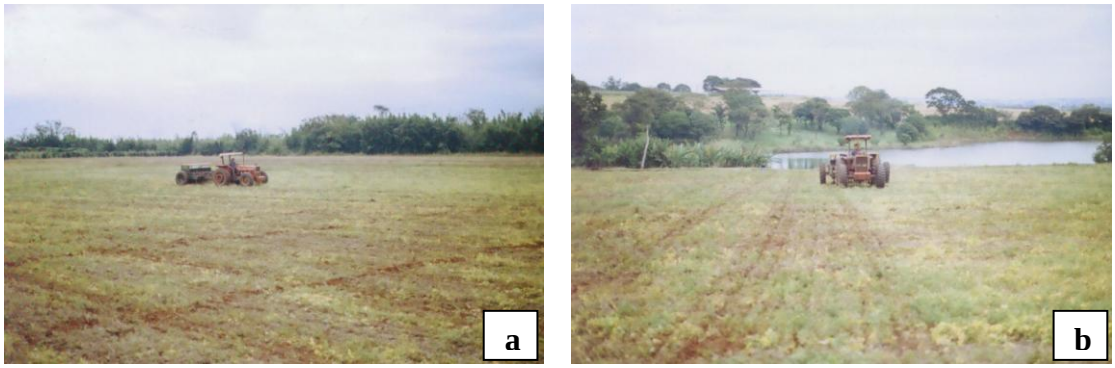


Figura 2 - Semeadura da aveia preta nos ensaios 1 e 2, em contorno (a) e no ensaio 2, morro abaixo (no sentido do declive) (b).

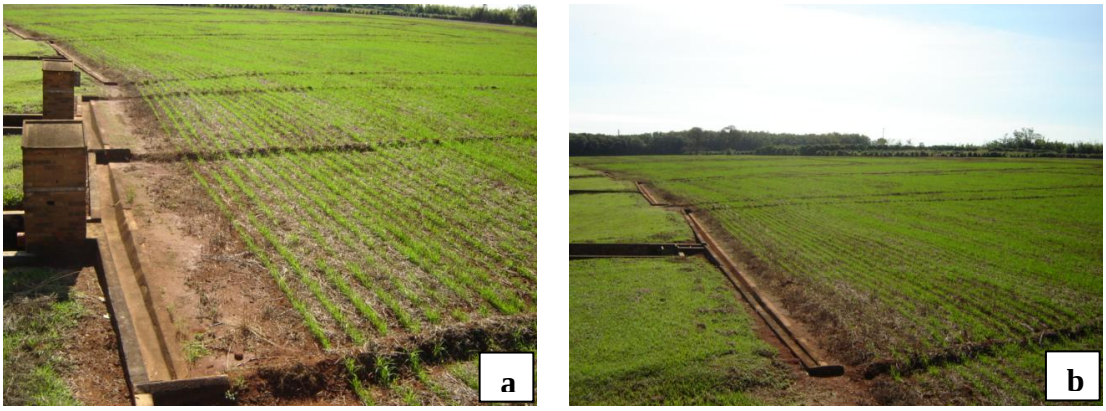


Figura 3 - Detalhe dos camalhões delimitadores das parcelas, no ensaio 1 (a) e no ensaio 2 (b).

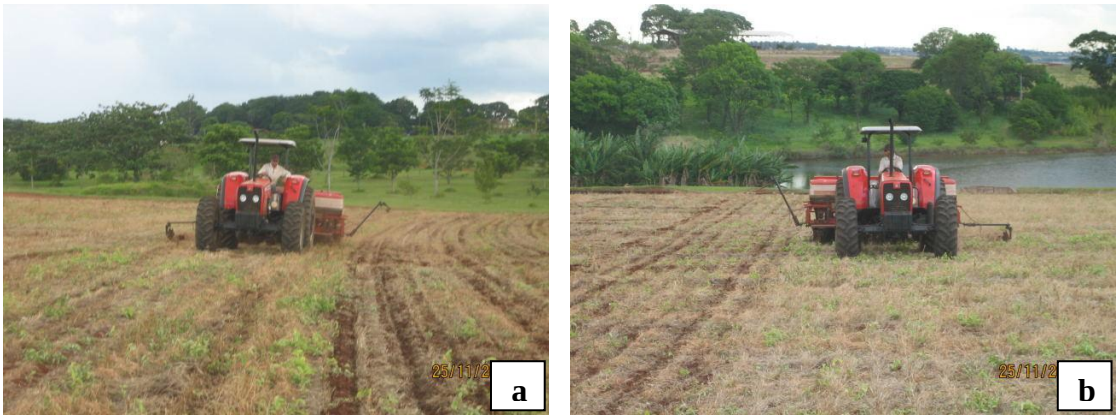


Figura 4 - Semeadura do milho nos ensaios 1 e 2, em contorno (a) e no ensaio 2, morro abaixo (no sentido do declive) (b).

3.3 Caracterização física do solo

Durante o ciclo da aveia preta avaliou-se, no dia 27 de julho de 2009, a permeabilidade do solo medindo a infiltração de água e a condutividade hidráulica saturada com o permeâmetro de carga constante modelo IAC (Figura 5), segundo método descrito por REYNOLDS & ELRICK (1986) e VIEIRA (1995-1998). As medições foram feitas na entrelinha da cultura, com uma carga hidráulica de 0,05 m de altura, em 9 locais por parcela no Ensaio 1 e em 15 locais no Ensaio 2, distribuídos igualmente no terço inferior, médio e superior das parcelas, na profundidade de 0,00-0,20 m. Essas medições se estenderam até que a condição de fluxo constante fosse encontrada, a qual era observada quando quatro diferenças entre leituras consecutivas eram iguais (VIEIRA, 1995-1998).

Os valores de infiltração de água ($mm\ h^{-1}$) e de condutividade hidráulica saturada ($mm\ h^{-1}$) foram calculados com o programa ONEHEAD.EXE desenvolvido por VIEIRA et al. (2002), considerando as leituras obtidas com a carga hidráulica escolhida, a textura do solo, o raio dos pontos de medição e as dimensões dos permeâmetros utilizados.

No dia 4 de novembro de 2008 foram coletadas amostras de solo para a determinação da estabilidade de agregados por via úmida de acordo com o método descrito por KEMPER & CHEPIL (1965). Em três locais por parcela dos ensaios (terço inferior, médio e superior) foi feita a limpeza da superfície do solo e construída uma pequena trincheira com 0,20 m de profundidade. Em seguida, aplainaram-se as paredes e retirou-se, com uma vanga, uma amostra de 5 kg de solo, que foi armazenada em saco plástico com identificação na parte interna e externa, transportada com cuidado para não ser compactada e, ou desestruturada e guardada em local seco e ventilado.

Posteriormente, as amostras foram secas ao ar e peneiradas a seco durante 10 minutos em um agitador mecânico com um conjunto de três peneiras com abertura de malha de 9,52, 4,00 e 2,00 mm. Os agregados selecionados entre as classes 9,52 e 4,00 mm de diâmetro foram submetidos a peneiramento sob agitação lenta em água durante 10 minutos, em amostras de 50 g e em triplicata, em peneiras de malhas 7,93, 6,35, 4,00, 2,00, 1,00 e 0,50 mm de diâmetro (Figura 6). Após o peneiramento, os agregados contidos em cada peneira foram transferidos para recipientes próprios e colocados a secar em estufa a 105-110 ºC por 48 h ou até massa constante. O estado de agregação das amostras de solo foi avaliado pela porcentagem de agregados estáveis em

água em cada classe de distribuição e pelo índice diâmetro médio ponderado (*DMP*), calculado pela seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^{n} (Xi \,.\, Wi) \qquad (19)$$

em que *Xi* é o diâmetro médio da classe de agregados em mm, *Wi* é a proporção da classe em relação ao total e *n* é o número de classes de agregados.

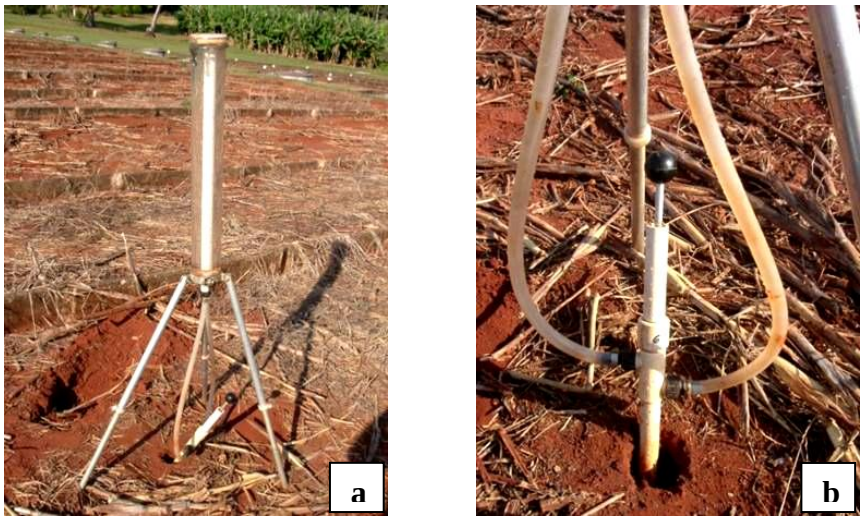


Figura 5 - Permeâmetro de carga constante modelo IAC (a); detalhe das mangueiras e da haste de ajuste da carga hidráulica (b).

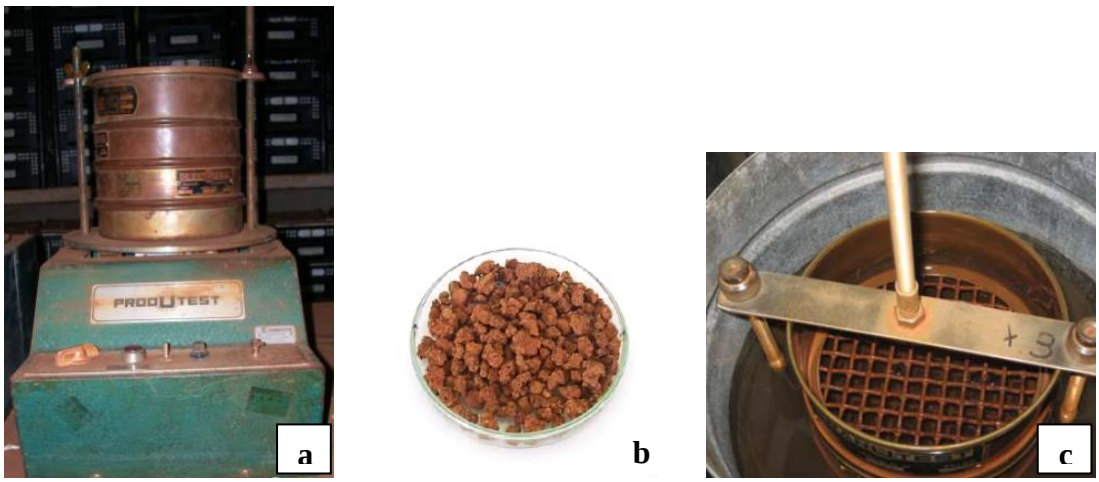


Figura 6 - Agitador mecânico para peneiramento a seco (a); agregados selecionados de tamanho entre 9,52 e 4,00 mm (b); detalhe do peneiramento sob agitação lenta em água (c).

A resistência do solo à penetração foi avaliada nos dias 4 e 6 de novembro de 2009 com penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf (STOLF et al., 1983). As leituras foram realizadas no terço inferior, médio e superior das parcelas, sendo 3 e 5 repetições para cada posição do Ensaio 1 e do Ensaio 2, respectivamente, até 0,40 m de profundidade. No campo foram obtidos os valores de profundidade atingida a cada impacto do equipamento. A transformação dos valores de impactos por profundidade para resistência do solo à penetração (em MPa) foi feita, conforme equação apresentada por STOLF (1991), pelo programa RPNT.EXE[1]. Os resultados serão apresentados em valores médios de resistência do solo à penetração para as camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade.

Durante os testes de resistência do solo à penetração foi coletada uma amostra de solo composta por 3 subamostras em cada uma das parcelas dos ensaios, em duas profundidades (0,00-0,20 e 0,20-0,40 m) para determinação da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997). Essa avaliação consistiu na pesagem das amostras deformadas com uma balança semi-analítica para se obter a massa úmida do solo (m_u). Em seguida, as amostras foram secas em estufa a 105-110 ºC por 24 horas. Alguns minutos após as amostras esfriarem foi obtida a massa seca do solo (m_s). A umidade gravimétrica (U, em g g^{-1}) foi calculada conforme a fórmula:

$$U = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \qquad (20)$$

A porosidade, a densidade e a curva de retenção de água no solo foram determinadas, conforme a metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986), utilizando-se anéis volumétricos de 100 cm^3, na profundidade de 0,00-0,20 m, num total de 9 amostras por parcela dos ensaios. Essas amostras de solo foram coletadas no dia 19 de novembro de 2008 da parede de três mini-trincheiras, localizadas nos terços inferior, médio e superior de cada parcela, com o auxílio de um macaco hidráulico. Após a retirada do excesso de solo das extremidades dos anéis com uma espátula, os mesmos foram tampados e acondicionados em bandejas (Figura 7) para o transporte até o laboratório.

[1] Comunicação pessoal: Programa desenvolvido pela pesquisadora do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do IAC Isabella Clerici De Maria.

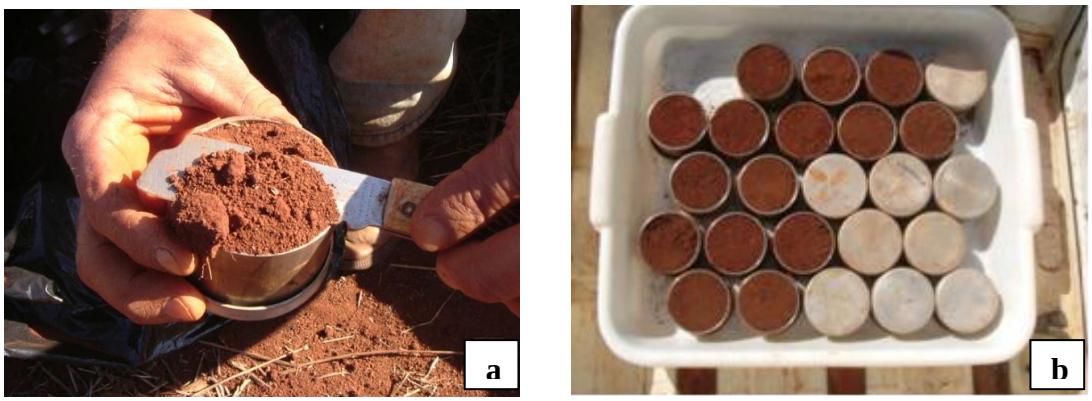


Figura 7 - Retirada do excesso de solo das extremidades do anel (a); anéis volumétricos exatamente preenchidos com solo e tampados para transporte (b).

Na chegada ao laboratório, os anéis receberam na sua extremidade inferior um disco de tecido fixado com elástico, que impede a perda de solo, mas é permeável ao fluxo de água e de ar. Assim, eles foram saturados por meio da elevação gradual da lâmina de água em bandejas, até atingir cerca de 2/3 da altura dos mesmos e na seqüência, pesados para se obter a massa do solo saturado (m_{sat}). Em seguida, as amostras foram submetidas às tensões de 0,5, 2, 5 e 6 kPa na mesa de tensão e às pressões de 10, 30, 100 e 1500 kPa na câmara de pressão de Richards até atingir o equilíbrio, sendo então pesadas para determinação da umidade do solo em cada um desses potenciais (Figura 8).

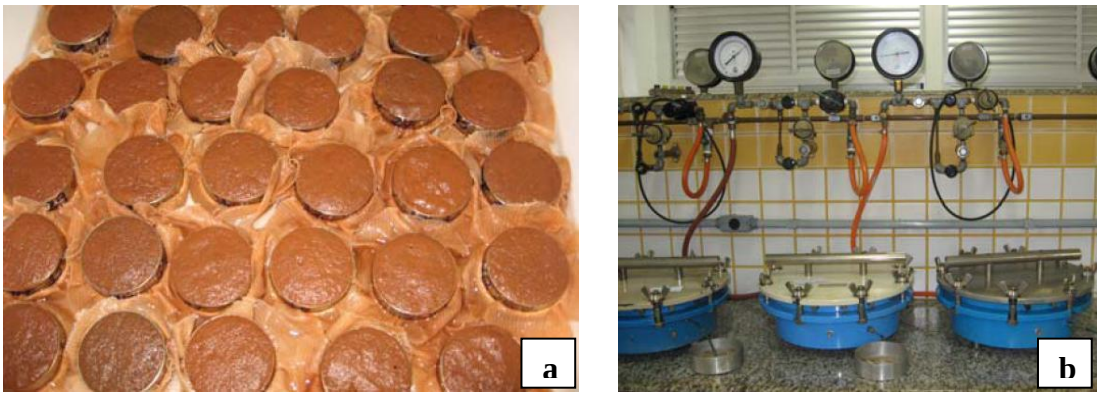


Figura 8 - Amostras indeformadas em saturação, coletadas com anéis volumétricos e protegidos com disco de tecido (a); câmaras de Richards para determinação da retenção de água (b).

O ajuste da curva de retenção foi feito segundo o modelo de GENUCHTEN (1980), utilizando o software Soil Water Retention Curve (DOURADO NETO et al., 2000), versão 3.00, conforme a equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + \left(\alpha\, \psi_m\right)^n\right]^m} \qquad (21)$$

em que θ é a umidade em função da tensão (módulo do potencial matricial), em $m^3\ m^{-3}$; θ_r é a umidade residual, em $m^3\ m^{-3}$; θ_s é a umidade de saturação, em $m^3\ m^{-3}$; ψ_m é o potencial matricial, em kPa; e m, n e α são parâmetros de ajustes da equação.

Para a determinação da densidade do solo (CAMARGO et al., 1986), após o ajuste da curva de retenção, as amostras indeformadas foram levadas para secar em estufa a 105-110 ºC por 24 h para obtenção da massa seca das amostras (m_s) e da tara do anel. A densidade do solo foi calculada pela equação:

$$D_s = \frac{m_s}{V_{anel}} \qquad (22)$$

em que D_s é a densidade do solo, em Mg m^{-3}; m_s é massa seca do solo, em Mg; e V_{anel} é o volume do anel volumétrico utilizado, em m^3.

A porosidade total do solo foi obtida de acordo com os procedimentos descritos em CAMARGO et al. (1986), sendo calculada pela equação:

$$PT = \frac{\dfrac{\left(m_{sat} - m_s\right)}{\rho}}{V_{anel}} \qquad (23)$$

em que PT é a porosidade do solo, em $m^3\ m^{-3}$; m_{sat} é a massa do solo saturado, em kg; m_s é massa seca do solo, em kg; e ρ é a densidade da água, em kg m^{-3} e V_{anel} é o volume do anel volumétrico utilizado, em m³.

A microporosidade é estabelecida como o volume de água retido nos poros do solo pela aplicação de uma tensão de 0,60 m de coluna de água na mesa de tensão (6 kPa). Nessa tensão extrai-se toda a água fracamente retida nos macroporos do solo, restando apenas a água retida fortemente à matriz do solo e indisponível para as plantas. Dessa forma, a microporosidade é dada pela seguinte equação:

$$Mi = \frac{\frac{(m_a - m_s)}{\rho}}{V_{anel}} \quad (24)$$

em que *Mi* é a microporosidade do solo, em $m^3\ m^{-3}$; m_a é a massa do solo submetido a 0,60 m de coluna de água, em kg; m_s é a massa seca do solo, em kg; e ρ é a densidade da água, em kg m^{-3} e V_{anel} é o volume do anel volumétrico utilizado, em m^3.

Para o cálculo da macroporosidade (*Ma*, em $m^3\ m^{-3}$) utilizou-se a diferença dos valores de porosidade total (*PT*, em $m^3\ m^{-3}$) e microporosidade (*Mi*, em $m^3\ m^{-3}$):

$$Ma = PT - Mi \quad (25)$$

Visando avaliar as condições de umidade do solo durante o ciclo do milho, foram instalados 3 tensiômetros, na profundidade de 0,00-0,20 m, distribuídos na parte superior, mediana e inferior de cada parcela dos ensaios. Dada a necessidade de tratos culturais (adubação de cobertura), a instalação desses equipamentos na entrelinha da cultura foi feita 44 dias após a semeadura (6/1/2009), quando o solo encontrava-se próximo da saturação. O tensiômetro mede a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, também conhecida por potencial matricial. As leituras foram feitas duas vezes por semana, no período de 13/1/2009 a 16/4/2009 (14 semanas), com um tensímetro dotado de vacuômetro digital, que fornece diretamente a medida do potencial matricial da água no solo, em mbar. O teor de água no solo correspondente no momento da amostragem foi obtido por meio da equação de GENUCHTEN (1980) ajustada aos dados de retenção de água (LIBARDI, 2005), com os valores de umidade apresentados como médias de cada semana de avaliação.

As análises físicas de estabilidade de agregados, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e curva de retenção de água no solo foram realizadas pelo Laboratório de Física do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico (IAC).

3.4 Caracterização da superfície do solo

A caracterização da superfície do solo dos ensaios foi feita avaliando-se os atributos porcentagem de cobertura vegetal e a rugosidade superficial do solo. Para a

determinação da porcentagem de cobertura vegetal do solo foi utilizado o método fotográfico, com a coleta de duas fotos da superfície de cada parcela dos ensaios, 24, 38, 63, 76, 101 e 115 dias depois da semeadura (DDS) da aveia preta e 3, 14, 22, 28 e 34 dias depois da semeadura do milho. A análise das fotos foi feita com o programa SisCob (JORGE & SILVA, 2009), versão 1.0, que permite a classificação e a quantificação de diferentes tipos de cobertura de uma imagem ou de um grupo de imagens, a partir da identificação prévia de padrões de cores das mesmas. Os padrões de cores identificados nas imagens foram da aveia preta, do milho, da palha e do solo (Figura 9). A porcentagem de cobertura vegetal do solo obtida foi representada pelo somatório das coberturas das culturas (aveia preta ou milho) e da palha.

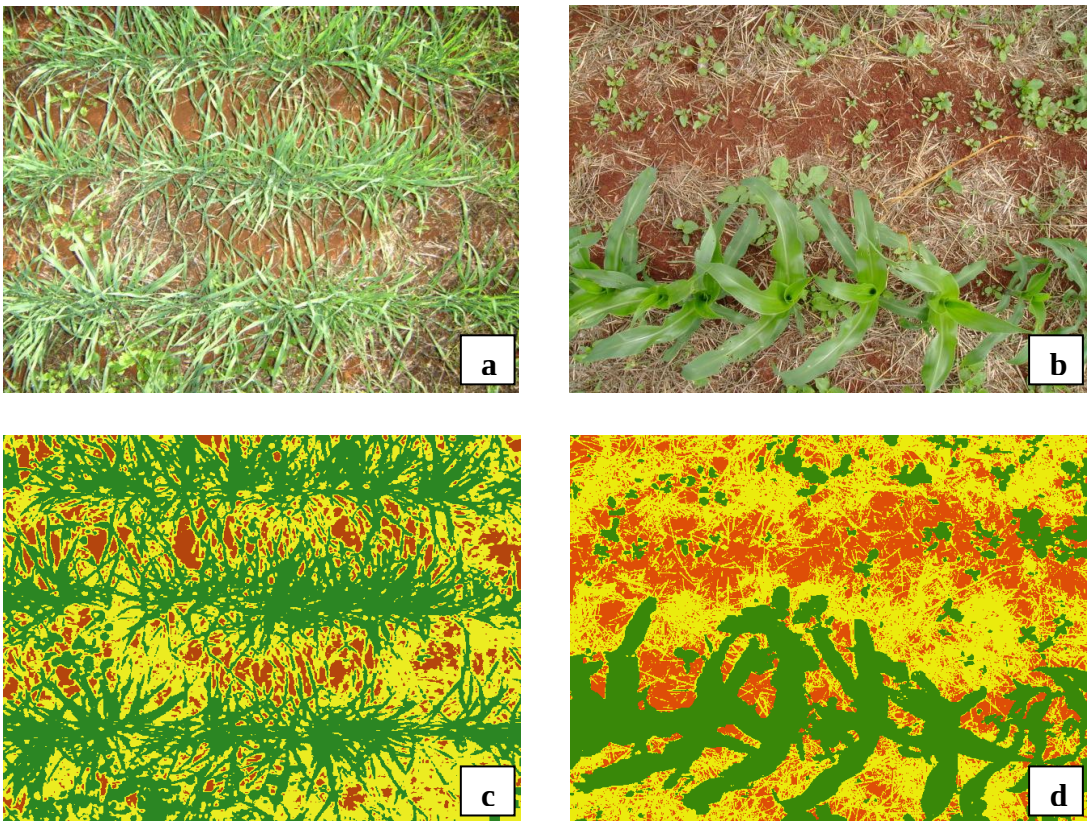


Figura 9 - Avaliação da porcentagem de cobertura vegetal da aveia preta (a) e do milho (b) pelo método fotográfico; imagens das coberturas vegetais da aveia preta (c) e do milho (d) após a classificação com o programa SisCob.

A rugosidade superficial do solo foi medida em cada parcela dos ensaios com um rugosímetro a laser, que toma leituras eletronicamente em duas dimensões a cada 1 cm, com precisão de 1 mm, por meio de um distanciômetro a laser, em uma área de

amostragem de 1 m², 21 dias antes (DAS) e 9 dias depois da semeadura (DDS) do milho. A avaliação da rugosidade foi feita por meio do índice de rugosidade aleatória (RR) segundo ALLMARAS et al. (1966), retirando-se o efeito da rugosidade orientada e da pendente do terreno (CURRENCE & LOVELY, 1970), sendo expresso em mm.

3.5 Indicadores fenológicos

Os indicadores fenológicos foram avaliados quanto ao rendimento das culturas (produção de grãos, em kg ha^{-1}) e da palha (matéria seca da parte aérea, em kg ha^{-1}). Os rendimentos de grãos e de palha da aveia preta e do milho foram medidos com a colheita da parte aérea das plantas em subparcelas de 4,8 m² (8 linhas de aveia de 2,0 m de comprimento) e 5,4 m² (3 linhas de milho de 2 m), respectivamente, com 3 repetições por parcela no Ensaio 1 e com 5 no Ensaio 2. De cada parcela foi retirada uma subamostra para a determinação da umidade dos grãos e do material colhido (palha). A massa dos grãos de aveia preta e de milho foram corrigidos para as umidades padrão de 13% (PRIMAVESI et al., 2000) e 14,5% (DUARTE & PATERNIANI, 2000), respectivamente. Foi também avaliado o rendimento de palha (matéria seca da parte aérea, em kg ha^{-1}) da soja, cultivada antes da implantação da aveia preta, em subparcelas de 5,625 m² (5 linhas de soja de 2,5 m de comprimento), com o mesmo número de repetições utilizadas para aveia preta e milho.

3.6 Monitoramento das perdas de solo e água por erosão

No final de cada parcela experimental há um sistema para coleta de água e sedimentos arrastados por erosão. Esse sistema é formado por uma soleira concentradora, que conduz a enxurrada até um primeiro tanque de decantação, e dois conjuntos de um divisor e uma calha, que direcionam a enxurrada do primeiro tanque de decantação para o segundo e deste para o tanque de armazenamento (Figura 10). Se o volume de enxurrada exceder a capacidade do primeiro tanque de decantação, a água passará pelo divisor colocado na altura de 0,50 m, e apenas uma fração da enxurrada, de acordo com o tipo de divisor, irá para o segundo tanque de decantação.

As perdas por erosão foram determinadas em intervalos de 24 h, sempre após cada chuva que causou enxurrada, pela medição da altura da água nos coletores por meio de uma régua colocada junto ao divisor e da pesagem da terra com baldes graduados. Os

cálculos foram feitos conforme os procedimentos descritos por BERTONI (1949), sendo as perdas de solo expressas em Mg ha^{-1} e as perdas de água (enxurrada) em mm.

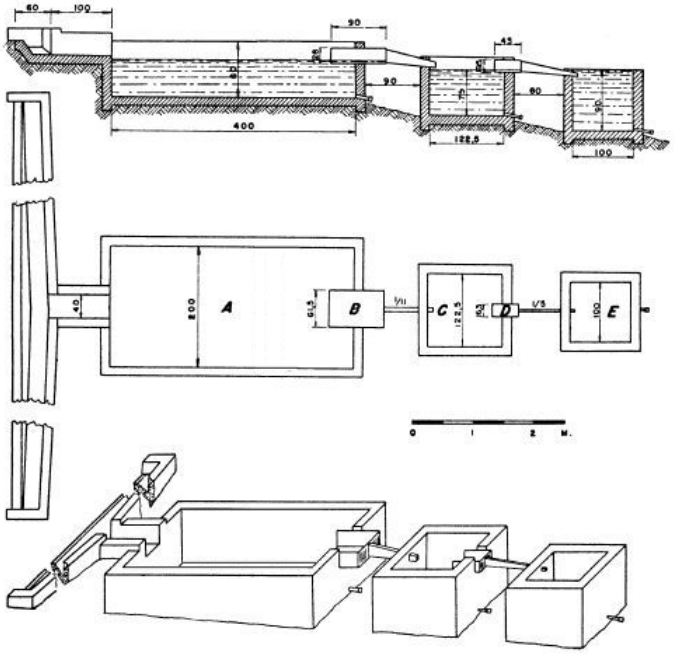


Figura 10 - Detalhamento do sistema coletor da enxurrada utilizado nas parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP. FONTE: Modificado de BERTONI & LOMBARDI NETO (2008).

Paralelamente à medição das perdas de água e sedimentos foi feito o registro diário das chuvas ocorridas no período do experimento (13/5/2008 a 12/5/2009), com pluviógrafos modelo Hillman, instalados em uma estação pluviométrica próxima aos ensaios. Para as chuvas que causaram perdas por erosão (solo e/ou água) e que foram maiores ou iguais a 10 mm ou menores que 10 mm, mas que apresentaram 6 mm ou mais precipitados em um período máximo de 15 minutos (CARVALHO et al., 2004) foi calculado o índice de erosividade da chuva (EI_{30}) (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Somando os índices EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas de cada mês, obteve-se a erosividade mensal das chuvas. O somatório desses valores resultou no valor de erosividade anual das chuvas para o período do experimento.

3.7 Estimativa das perdas por erosão pela USLE

Além da determinação das perdas por erosão observadas durante o período do experimento, foram calculadas as perdas médias anuais de solo esperadas para as condições do estudo, com a Equação Universal de Perdas de Solo (Equação 1), para a comparação dos resultados e análise dos efeitos dos fatores envolvidos no processo erosivo.

Para o fator erosividade da chuva e do escoamento superficial (R) foi utilizado o valor obtido por LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) para o período de 1954 a 1975, em Campinas-SP (6.738 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}). O valor de erodibilidade (K) para Latossolo Vermelho Distroférrico típico é de 0,0122 Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1} (LOMBARDI NETO & BERTONI, 1975a).

Os fatores comprimento (L) e inclinação do declive (S) foram determinados por meio das equações 7 e 8, propostas por WISCHMEIER & SMITH (1978) e BERTONI & LOMBARDI NETO (2008), respectivamente, que consideram os efeitos desses fatores conjuntamente na USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1965), como fator topográfico (LS).

O fator cobertura e manejo do solo e das culturas (C) é calculado a partir das razões de perdas de solo (RPS) e da distribuição do índice de erosão anual local (fator R) (WISCHMEIER & SMITH, 1978). A RPS expressa a relação entre as perdas de terra ocorridas no sistema de manejo adotado e as perdas de um solo mantido continuamente descoberto e cultivado.

Para a obtenção do fator C, os ciclos da aveia preta e do milho foram divididos em cinco estádios de desenvolvimento, com igual tempo de duração para cada um deles (WISCHMEIER, 1960). Em seguida, foi definida a porcentagem do índice de erosividade da chuva (R) e a razão de perdas de solo para cada um dos estádios. Para isso, foram utilizadas a distribuição da erosividade anual da chuva observada por LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992) para Campinas-SP (Figura 11) e os valores médios de RPS observados para aveia preta sob semeadura direta (BERTOL et al., 2002) e para milho em cultivo contínuo e com restos culturais deixados na superfície (DE MARIA & LOMBARDI NETO, 1997).

O fator C, para cada estádio durante o ciclo das culturas, foi calculado pelo produto da RPS e da fração da erosividade anual do referido estádio e o somatório desses valores resultou no fator C dessa seqüência de culturas para uso na USLE (Tabela 9).

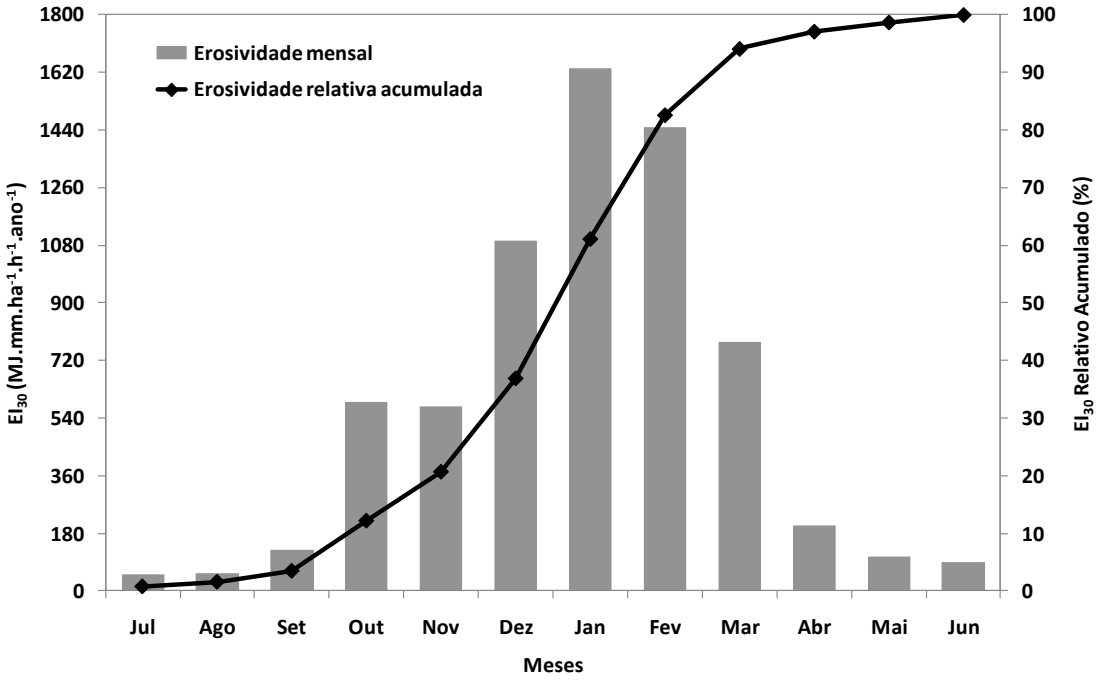


Figura 11 - Médias mensais e distribuição do índice de erosividade da chuva (R), do período de 1954-1975, em Campinas-SP. FONTE: Modificado de LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER (1992).

Tabela 9 - Cálculo do fator C para as culturas da aveia preta e do milho cultivados em sistema plantio direto, para Campinas-SP.

Fase da cultura	Datas	EI_{30} acumulado	EI_{30} período	RPS	fator C por estádio
	-	%	%	Mg ha^{-1} Mg ha^{-1}	-
Semeadura Aveia Preta	01/mai	1,6	1,6	0,0312	0,0005
30 DAS	01/jun	2,9	1,3	0,2241	0,0029
60 DAS	01/jul	3,7	0,8	0,0448	0,0004
90 DAS	01/ago	4,5	0,8	0,0397	0,0003
Colheita Aveia Preta	01/set	6,4	1,9	0,0404	0,0008
Restos Culturais	01/out	15,1	8,7	0,0404	0,0035
Restos Culturais + Plantas Daninhas	01/nov	23,6	8,5	0,0300	0,0026
Semeadura Milho	01/dez	39,8	16,2	0,0300	0,0049
30 DAS	01/jan	64,0	24,2	0,0400	0,0097
60 DAS	01/fev	85,5	21,5	0,0100	0,0022
90 DAS	01/mar	97,0	11,5	0,0100	0,0012
Colheita Milho	01/abr	100,0	3,0	0,0100	0,0003
				fator C do período	0,0291

O fator práticas conservacionistas de suporte (P) da Equação Universal de Perdas de Solo é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo). As práticas mais comuns para as culturas anuais são o plantio em contorno, o plantio em faixas de contorno, o terraceamento e a alternância de capinas. Nos cálculos da USLE para as condições do experimento foram utilizados os valores do fator P para semeadura morro abaixo e em contorno (Tabela 10), de acordo com MARQUES et al. (1961).

Tabela 10 - Valor do fator P da Equação Universal de Perdas de Solo para algumas práticas conservacionistas.

Prática Conservacionista	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

FONTE: MARQUES et al. (1961).

3.8 Seção transversal do canal dos terraços para os ensaios

O solo da área experimental apresenta propriedades físicas favoráveis à infiltração de água no seu perfil, como grande profundidade, baixa razão textural entre horizontes e elevada porosidade e permeabilidade, conforme a tabela 2, dessa forma, o tipo de terraço recomendado para o mesmo é o terraço em nível.

O dimensionamento da seção transversal do canal dos terraços em nível para as parcelas dos ensaios foi feito pela equação 14, em função do espaçamento horizontal entre terraços (*EH*), da chuva diária máxima para o período de retorno escolhido (*h*) e do coeficiente de enxurrada (*c*). Os espaçamentos horizontais foram definidos como os comprimentos de rampa estabelecidos para cada uma das parcelas dos ensaios. O valor da chuva diária máxima para o local do experimento (Campinas-SP) é de 105 mm, de acordo com o mapa de isoietas do Estado de São Paulo, determinado por VIEIRA et al. (1991), para o período de retorno de 10 anos (Figura 12).

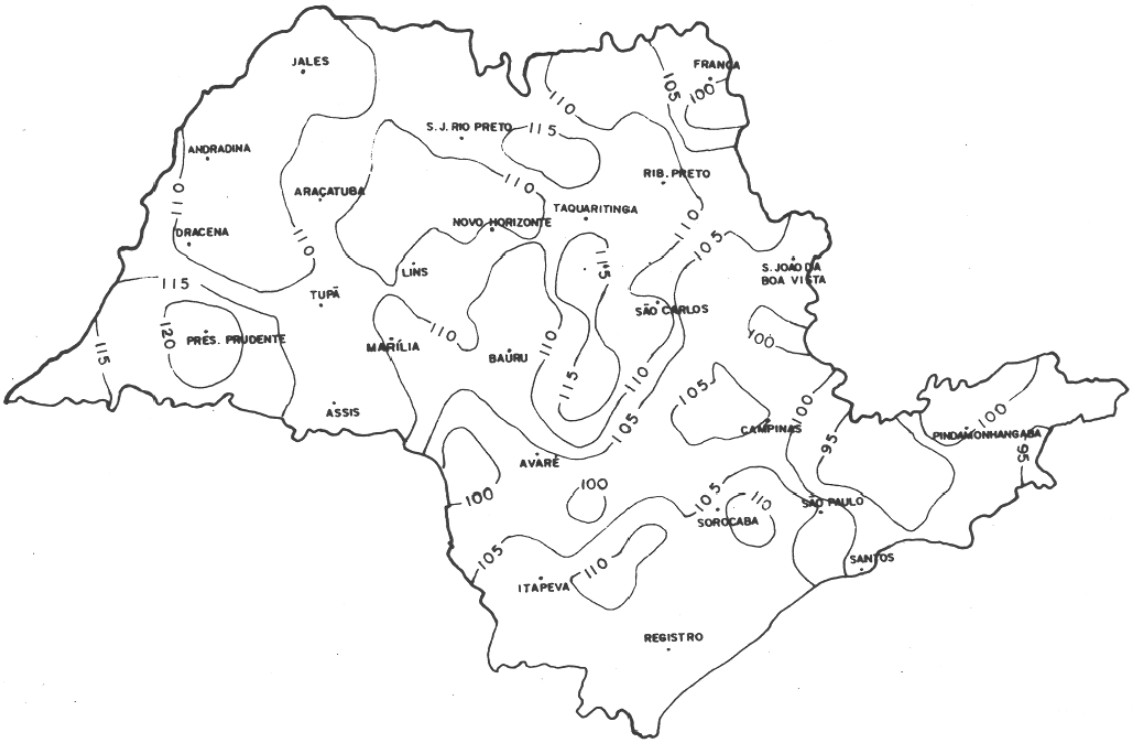


Figura 12 - Mapa de isoietas de chuvas máximas diárias, em mm, para período de retorno de 10 anos. FONTE: VIEIRA et al. (1991).

Para o coeficiente de enxurrada (*c*) foi utilizado o valor de 0,40, relativo a um solo do grupo hidrológico A, com declividade entre 5 e 10% e cobertura vegetal formada por cultivos (Tabela 6). Também foram utilizados os valores máximos de *c* determinados por meio da relação entre as perdas diárias de água, em mm, de cada parcela dos ensaios e o volume diário das chuvas erosivas, que estão disponíveis nos Anexos 2 e 3.

3.9 Análise dos dados

Devido à dificuldade de se encontrar uma área com características topográficas e de solo uniformes para o estabelecimento do experimento, em parcelas com sistema de coletores de enxurrada (solo e água), os tratamentos dos ensaios foram instalados sem repetições.

A análise dos dados de caracterização física e da superfície do solo, dos indicadores fenológicos, assim como das estimativas das perdas de solo por erosão pela USLE, foi feita pela comparação das médias entre as parcelas e classificação do coeficiente de variação de cada ensaio. De acordo com PIMENTEL GOMES (2000) os

coeficientes de variação são considerados baixos quando inferiores a 10%; médios, quando variam entre 10 a 20%; altos, quando estão entre 20 a 30%; e muito altos, quando superiores a 30%.

As perdas de solo e água por erosão foram comparadas, entre as parcelas de cada ensaio, para os ciclos da aveia preta e do milho, para o intervalo entre as duas culturas (pousio) e para o período total do experimento (13/5/2008 a 12/5/2009). Para esse período foi realizada também análise de regressão entre as perdas de água medidas em cada parcela dos ensaios 1 e 2 e o índice de erosividade da chuva (EI_{30}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física do solo

As parcelas dos dois ensaios estão instaladas na mesma unidade de mapeamento de solo e na mesma posição do declive. Para os atributos físicos do solo avaliados foram determinados os valores médios e os coeficientes de variação. Não há razão para que as variações entre os valores das parcelas dos ensaios 1 e 2 possam ser atribuídas aos tratamentos implantados (Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15). As variações são, de maneira geral, devido à variabilidade inerente ao tipo de solo e a unidade de mapeamento (Anexo 4).

Os dados de D_s, *PT*, *Mi*, *Ma*, teor de água no solo (θ), infiltração de água e condutividade hidráulica saturada apresentam valores médios muito próximos entre as parcelas dos ensaios, com coeficientes de variação em torno de 10% (Tabelas 11, 12 e 15), considerados baixos conforme a classificação de PIMENTEL GOMES (2000). Esses resultados indicam que o número de repetições utilizadas nessas avaliações, para obter o valor médio das parcelas dos dois ensaios, foram adequadas para a caracterização do solo.

Os valores de densidade do solo foram relativamente altos para a superfície nesse tipo de solo (1,31 e 1,29 Mg m^{-3}, na média dos ensaios 1 e 2), mas são característicos de solos sob sistemas de manejo sem revolvimento periódico, como é o caso do sistema plantio direto adotado na área (Tabela 11). A compactação da camada superficial é semelhante à observada nesse sistema, na mesma unidade de mapeamento, por CASTRO (1995), na média das camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-

0,20 m (1,30 Mg m^{-3}) e por SARVASI (1994), na média das amostragens de 0,00-0,10 e de 0,10-0,20 m de profundidade (1,34 Mg m^{-3}) e decorre do rearranjamento das partículas do solo (SIDIRAS et al., 1982; GARCIA & RIGHES, 2008).

Segundo KIEHL (1979), a porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de 0,50 m^3 m^{-3}, com uma distribuição percentual de 2/3 para microporosidade e 1/3 para macroporosidade. Os valores médios de porosidade total dos ensaios 1 e 2 (0,50 e 0,54 m^3 m^{-3}, respectivamente) encontraram-se próximos do recomendado, entretanto com a macroporosidade apresentando valores abaixo das consideradas ideais (Tabela 11), segundo KIEHL (1979). No entanto, essa condição pode ser considerada adequada para o desenvolvimento das culturas, por a macroporosidade apresentar valores superiores (0,13 e 0,14 m^3 m^{-3}) ao valor mínimo necessário (0,10 m^3 m^{-3}) para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular, segundo DEXTER (1988), XU et al. (1992) e ARGENTON et al. (2005).

A retenção de água no solo está relacionada diretamente com a microporosidade e, assim, o teor de água no solo (θ) também não apresentou elevados coeficientes de variação entre as parcelas dos ensaios durante o período de avaliação, mesmo com a utilização de diferentes direções de semeadura, que poderiam alterar a dinâmica da enxurrada na superfície do solo, promovendo menor armazenamento de água na semeadura morro abaixo.

Os resultados de infiltração de água e condutividade hidráulica saturada, que normalmente apresentam coeficientes de variação muito altos, como os observados por SARVASI (1994) em sistema plantio direto até 0,15 m (cerca de 49,3%), apresentaram coeficientes de variação baixos e médios (PIMENTEL GOMES, 2000) entre as parcelas dos ensaios (Tabela 12). Contribuiu para isso o número de determinações feitas para obtenção do valor médio de cada parcela (9 repetições no Ensaio 1 e 15 no Ensaio 2) e o fato de ser utilizado o mesmo sistema de manejo do solo (SPD) nos dois ensaios. Nota-se, entretanto, que houve diferença entre as parcelas dos dois ensaios: no ensaio 2 os valores médios de infiltração de água e condutividade hidráulica saturada foram mais elevados (216,64 e 49,36 mm h^{-1} respectivamente) e apresentaram maior coeficiente de variação (13,3%) do que os observados no ensaio 1 (3,3%). Esse resultado pode ser devido, além da variabilidade natural do solo, à variações na intensidade do tráfego de máquinas e de manobras de implementos entre as parcelas dos ensaios.

Os demais atributos do solo avaliados (porcentagem de agregados por classe de diâmetro, diâmetro médio ponderado e resistência do solo à penetração) apresentaram valores de coeficiente de variação mais elevados (Tabelas 13 e 14) que os observados

para D_s, *PT*, *Mi*, *Ma*, teor de água no solo (θ), infiltração de água e condutividade hidráulica saturada. Esses valores são conseqüência dos métodos de avaliação utilizados, que tomam valores pontuais de atributos relacionados com a estrutura do solo. A estrutura do solo apresenta uma variabilidade natural, como já citado, mas também está sujeita a variações em pequenas distâncias decorrentes das operações de manejo, comumente realizadas com máquinas (semeadura, pulverização e colheita), e dos implementos (discos e facões) que alteram o solo localizadamente. Os dados de porcentagens de agregados das peneiras de maior diâmetro e de resistência do solo à penetração nas camadas superficiais refletem bem essas condições (Tabelas 13 e 14), pois apresentaram coeficientes de variação acima de 30%, que são classificados como muito altos, segundo PIMENTEL GOMES (2000).

Tabela 11 - Valores médios de densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Tratamentos	D_s	PT	Mi	Ma
	$Mg\ m^{-3}$	$m^3\ m^{-3}$		
		Ensaio 1		
25 m	1,27	0,51	0,38	0,13
50 m	1,32	0,50	0,37	0,13
75 m	1,35	0,48	0,36	0,13
Média	1,31	0,50	0,37	0,13
CV (%)	3,1	3,1	2,7	3,5
		Ensaio 2		
MA - 50 m	1,25	0,55	0,40	0,15
MA - 75 m	1,32	0,53	0,40	0,13
EC - 50 m	1,28	0,54	0,40	0,13
EC - 75 m	1,29	0,52	0,40	0,13
Média	1,29	0,54	0,40	0,14
CV (%)	2,3	2,4	0,8	7,4

Tabela 12 - Valores médios de infiltração de água no solo e condutividade hidráulica saturada do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Tratamentos	Infiltração	Condutividade hidráulica saturada
	mm h^{-1}	
	Ensaio 1	
25 m	156,62	37,22
50 m	155,36	36,92
75 m	164,98	39,21
Média	158,99	37,78
CV (%)	3,3	3,3
	Ensaio 2	
MA - 50 m	237,94	54,22
MA - 75 m	182,88	41,67
EC - 50 m	242,37	55,22
EC - 75 m	203,35	46,33
Média	216,64	49,36
CV (%)	13,1	13,1

Tabela 13 - Valores médios de porcentagem de agregados por classe de diâmetro e diâmetro médio ponderado (DMP) do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m.

Tratamentos	Classe de agregados (mm)							DMP
	9,52-7,93	7,93-6,35	6,35-4,00	4,00-2,00	2,00-1,00	1,00-0,50	<0,50	
	%							mm
	Ensaio 1							
25 m	0,0	1,0	1,8	6,5	13,9	26,5	50,3	0,89
50 m	0,4	1,2	2,7	7,0	14,5	25,2	49,0	1,00
75 m	0,3	1,5	3,0	6,9	15,5	25,4	47,5	1,03
Média	0,2	1,2	2,5	6,8	14,6	25,7	48,9	0,98
CV (%)	91,4	18,7	24,8	4,3	5,5	2,8	2,9	7,6
	Ensaio 2							
MA - 50 m	0,7	1,7	4,4	10,0	19,8	24,1	39,4	1,29
MA - 75 m	0,3	1,7	4,7	11,9	21,5	23,9	35,9	1,34
EC - 50 m	0,0	0,9	2,1	8,0	20,9	27,3	40,9	1,03
EC - 75 m	0,3	0,7	2,4	6,4	16,7	26,3	47,4	0,95
Média	0,3	1,2	3,4	9,1	19,7	25,4	40,9	1,15
CV (%)	88,6	41,8	40,6	26,7	10,9	6,6	11,7	16,6

Tabela 14 - Valores médios de resistência do solo à penetração, nas profundidades de 0,00-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m e de teor de água no solo (*U*), nas profundidades de 0,00-0,20 e de 0,20-0,40 m do Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas d dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP.

Tratamentos	Resistência do solo à penetração				Teor de água no solo (*U*)	
	0,00 - 0,10 m	0,10 - 0,20 m	0,20 - 0,30 m	0,30 - 0,40 m	0,00 - 0,20 m	0,20 - 0,40 m
	MPa				g g^{-1}	
			Ensaio 1			
25 m	4,18	4,68	4,02	3,35	0,225	0,219
50 m	3,38	4,34	3,91	3,13	0,220	0,213
75 m	1,73	3,05	3,65	3,16	0,215	0,213
Média	3,10	4,02	3,86	3,21	0,220	0,215
CV (%)	40,3	21,4	4,9	3,7	2,3	1,6
			Ensaio 2			
MA - 50 m	3,77	3,93	3,83	3,28	0,202	0,212
MA - 75 m	3,11	3,71	3,46	3,13	0,245	0,246
EC - 50 m	3,28	5,41	4,72	3,56	0,242	0,255
EC - 75 m	2,44	3,31	3,47	2,94	0,230	0,228
Média	3,15	4,09	3,87	3,23	0,230	0,235
CV (%)	17,5	22,4	15,3	8,1	8,5	8,1

Tabela 15 - Valores médios de teor de água (θ) no Latossolo Vermelho Distroférrico típico das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, na profundidade de 0,00 - 0,20 m, durante 14 semanas de cultivo do milho, em 2009.

Tratamentos	Teor de água (θ) para os períodos de avaliação semanais													
	12-16/1	19-23/1	26-30/1	02-06/2	09-13/2	16-20/2	23-27/2	02-06/3	09-13/3	16-20/3	23-27/3	30/3-03/4	06-10/4	13-17/4
	$m^3\ m^{-3}$													
Ensaio 1														
25 m	0,283	0,383	0,390	0,417	0,428	0,393	0,297	0,261	0,274	0,389	0,354	0,388	0,402	0,412
50 m	0,304	0,364	0,379	0,380	0,384	0,370	0,336	0,267	0,311	0,359	0,334	0,359	0,364	0,373
75 m	0,282	0,323	0,332	0,335	0,337	0,329	0,292	0,267	0,271	0,327	0,303	0,323	0,327	0,337
Média	0,290	0,356	0,367	0,377	0,383	0,364	0,308	0,265	0,285	0,358	0,330	0,357	0,364	0,374
CV (%)	4,4	8,6	8,4	10,9	11,9	8,9	7,8	1,3	7,9	8,7	7,9	9,2	10,3	10,0
Ensaio 2														
MA - 50 m	0,299	0,369	0,384	0,384	0,391	0,382	0,306	0,295	0,297	0,355	0,304	0,313	0,350	0,376
MA - 75 m	0,312	0,357	0,368	0,372	0,376	0,363	0,330	0,308	0,316	0,344	0,314	0,332	0,354	0,372
EC - 50 m	0,306	0,363	0,370	0,373	0,376	0,363	0,326	0,300	0,303	0,359	0,333	0,349	0,357	0,369
EC - 75 m	0,294	0,372	0,375	0,388	0,389	0,372	0,358	0,294	0,298	0,362	0,304	0,338	0,353	0,376
Média	0,302	0,365	0,374	0,379	0,383	0,370	0,330	0,299	0,303	0,355	0,313	0,333	0,353	0,373
CV (%)	2,6	1,9	1,9	2,0	2,2	2,4	6,5	2,2	2,8	2,2	4,4	4,6	0,9	0,8

4.2 Caracterização da superfície do solo

Na caracterização da superfície do solo, com o índice de rugosidade aleatória, foram encontrados coeficientes de variação superiores a 23% entre as parcelas dos ensaios (Tabela 16). Esses altos valores de coeficiente de variação observados, de acordo com a classificação de PIMENTEL GOMES (2000), devem-se provavelmente a efeitos locais na superfície do solo, indicando que o número de repetições utilizado foi reduzido. Embora o rugosímetro a laser determine um grande número de pontos em cada leitura, as repetições no espaço são poucas e não são suficientes para cobrir as variações do solo decorrentes do manejo, assim ocorreu com porcentagem de agregados nas classes de maior diâmetro e resistência do solo à penetração.

Apesar disso, os baixos coeficientes de variação da porcentagem de cobertura vegetal do solo entre os ensaios nos ciclos da aveia preta e do milho, em geral menores que 10%, indicam que suas condições superficiais sob sistema plantio direto durante o experimento foram uniformes e pouco influenciadas pelos tratamentos estudados (Tabela 17). Mesmo a direção de semeadura, que poderia interferir no maior arraste dos resíduos vegetais (palha), provocando variação da cobertura, não influenciou os resultados. A cobertura do solo manteve-se elevada ao longo do ciclo das culturas, indicando um sistema plantio direto bem conduzido (Anexo 5).

Tabela 16 - Índice de rugosidade aleatória do solo (RR) das parcelas dos ensaios 1 e 2 localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP, 21 dias antes (DAS) e 9 dias depois da semeadura (DDS) do milho.

Tratamentos	Índice de rugosidade aleatória (RR)	
	21 DAS	9 DDS
	mm	
	Ensaio 1	
25 m	18,60	9,61
50 m	11,17	7,62
75 m	18,24	6,02
Média	16,00	7,75
CV (%)	26,2	23,2
	Ensaio 2	
MA - 50 m	24,47	8,77
MA - 75 m	25,60	13,19
EC - 50 m	12,04	15,29
EC - 75 m	28,16	19,97
Média	22,57	14,31
CV (%)	31,8	32,5

Tabela 17 - Valores médios de porcentagem de cobertura vegetal do solo nos ciclos da aveia preta e do milho nas parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP.

Tratamentos	Cobertura vegetal no ciclo da aveia preta						Cobertura vegetal no ciclo do milho				
	24 DDS	38 DDS	63 DDS	76 DDS	101 DDS	115 DDS	3 DDS	14 DDS	22 DDS	28 DDS	34 DDS
	%						%				
						Ensaio 1					
25 m	74,5	94,4	95,2	93,1	87,5	90,6	59,6	63,2	80,2	87,9	99,1
50 m	75,6	92,9	95,1	91,9	86,9	92,0	57,8	70,5	77,3	87,8	96,7
75 m	63,1	94,9	93,7	93,5	91,2	94,3	56,2	77,4	83,0	89,7	98,0
Média	71,1	94,1	94,7	92,9	88,5	92,3	57,9	70,4	80,2	88,5	97,9
CV (%)	9,7	1,2	0,9	0,9	2,6	2,1	3,0	10,1	3,6	1,2	1,2
						Ensaio 2					
MA - 50 m	81,9	91,0	93,1	91,5	89,1	93,0	66,5	66,1	84,1	92,5	97,1
MA - 75 m	78,0	91,9	89,2	86,6	93,3	92,4	54,9	62,4	79,5	90,1	98,1
EC - 50 m	58,2	94,2	91,1	87,3	86,1	93,4	61,7	61,5	76,3	86,3	98,3
EC - 75 m	77,0	89,7	89,5	90,5	90,2	92,6	59,7	69,5	79,9	85,4	98,9
Média	73,8	91,7	90,7	89,0	89,7	92,9	60,7	64,9	79,9	88,6	98,1
CV (%)	14,4	2,1	2,0	2,7	3,3	0,5	7,9	5,6	4,0	3,7	0,8

4.3 Indicadores fenológicos

Os indicadores fenológicos avaliados apresentaram, em sua maioria, baixa variação entre as parcelas dos ensaios (PIMENTEL GOMES, 2000), dado seus coeficientes de variação em grande parte serem menores que 10% (Tabela 18). Tais resultados indicam que não houve diferenciação importante no rendimento de matéria seca da parte aérea e de grãos das culturas devido aos tratamentos estabelecidos neste experimento (Anexo 5).

Tabela 18 - Valores médios de rendimentos de matéria seca da parte aérea da soja e de grãos e de matéria seca da parte aérea da aveia preta e do milho das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP.

Tratamentos	Soja	Aveia Preta		Milho	
	MS	Grãos	MS	Grãos	MS
	kg ha^{-1}				
			Ensaio 1		
25 m	1976	565	2437	8450	4671
50 m	2147	643	2929	7745	6417
75 m	1922	596	2680	8764	6501
Média	2015	601	2682	8320	5863
CV (%)	5,8	6,5	9,2	6,3	17,6
			Ensaio 2		
MA – 50 m	2002	769	3422	7757	5738
MA – 75 m	1978	751	3405	7853	5636
EC – 50 m	1754	660	2699	9391	6628
EC – 75 m	1811	727	2621	8810	6424
Média	1886	727	3037	8453	6107
CV (%)	6,5	6,6	14,4	9,3	8,1

4.4 Perdas de solo e água por erosão

Durante o período do experimento (13/5/2008 a 12/5/2009), ocorreram 111 chuvas no local do experimento, com uma precipitação total de 1.177,2 mm. As chuvas se concentraram no ciclo do milho (68 chuvas), correspondendo a 63% da pluviosidade total. O número de chuvas e o volume total precipitado no ciclo da aveia preta e no período entre as duas culturas (pousio) foram bem próximos (23 chuvas e 202,5 mm; 20 chuvas e 232,7 mm respectivamente), mas com uma concentração maior no período apenas com palha na superfície, que compreendeu os meses de outubro e novembro de 2008 (Figura 13).

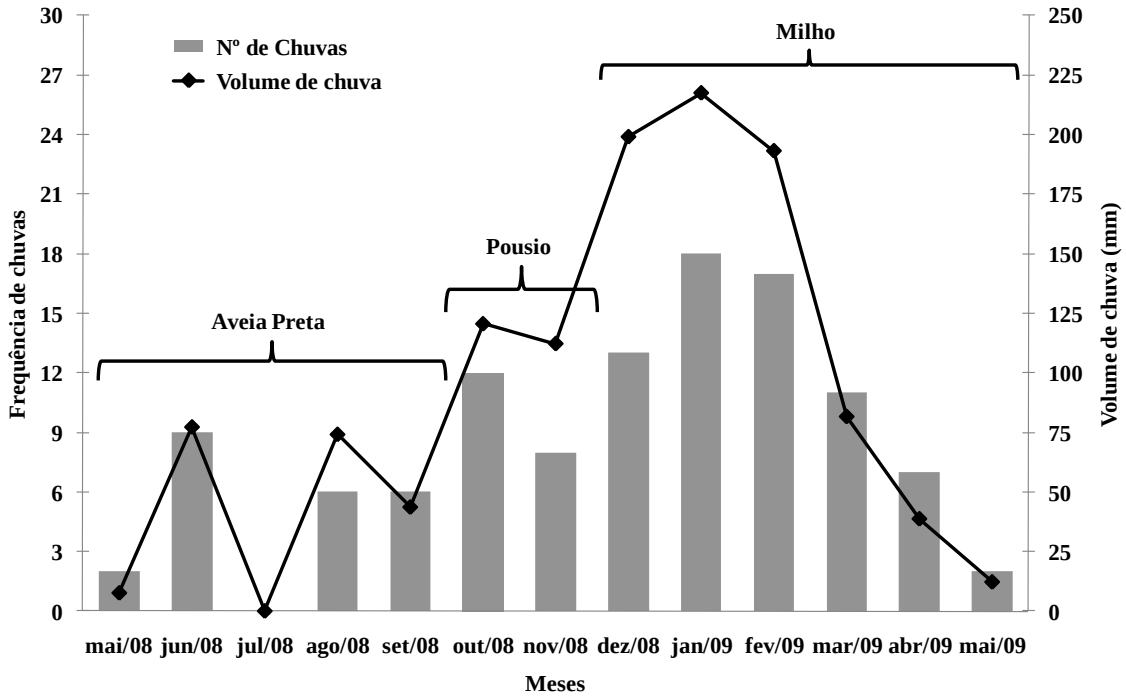


Figura 13 - Distribuição de frequência das chuvas (número de eventos) e volume mensal de chuvas (mm) no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP.

4.4.1 Perdas de água e solo no Ensaio 1

No Ensaio 1 observou-se a formação de enxurrada nas parcelas em 41 chuvas. Desse total, 34 chuvas foram consideradas erosivas (Anexo 2) e responsáveis por quase dois terços (64,5%) da precipitação total do período do experimento (Tabela 19). Essas 34 chuvas apresentaram um volume médio de 22,3 mm, com uma variação de 8,8 a 40,2 mm, desvio padrão de 8,6 mm e coeficiente de variação de 38,6%.

O ciclo do milho (2008/2009) apresentou a maior ocorrência de chuvas erosivas do Ensaio 1 (27 chuvas), com 77,8% delas concentradas nos meses de dezembro de 2008 e janeiro e fevereiro de 2009 (Tabela 19). Essas chuvas totalizaram 582,5 mm, com uma precipitação média de 21,6 mm, desvio padrão de 8,7 mm e coeficiente de variação de 40,3%. No ciclo do milho foi observada a maior amplitude entre as chuvas erosivas do Ensaio 1 (31,4 mm). No período do ciclo da aveia preta (outono/inverno de 2008) até a semeadura do milho (pousio) ocorreram apenas 20,6% das chuvas erosivas do Ensaio 1, com uma precipitação total de 176,3 mm. Nesse período observou-se o maior volume médio das chuvas erosivas (25,2 mm), com a pluviosidade variando de 16,2 a 38,7 mm, desvio padrão de 8,3 mm e coeficiente de variação de 32,9%.

Tabela 19 - Volume e frequência de chuvas erosivas, índice de erosividade da chuva (EI_{30}) e perdas de solo e água por erosão, medidos nas parcelas do Ensaio 1, por mês, ciclo cultural e total no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, localizado no Centro Experimental do IAC em Campinas, SP.

Mês/Ano	Volume de Chuvas Erosivas	Frequência de Chuvas Erosivas	EI_{30}	Ensaio 1								
				25 m			50 m			75 m		
				Solo	Água		Solo	Água		Solo	Água	
	mm	-	MJ mm ha^{-1} h^{-1}	Mg ha^{-1}	L	mm	Mg ha^{-1}	L	mm	Mg ha^{-1}	L	mm
mai/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jun/2008	58,6	2	236,6	0	374	1,87	0	369	0,92	0	410	0,68
jul/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ago/2008	16,2	1	21,7	0	0	0	0	10	0,02	0	0	0
set/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aveia Preta 2008	**74,8**	**3**	**258,3**	**0**	**374**	**1,87**	**0**	**379**	**0,95**	**0**	**410**	**0,68**
out/2008	58,2	2	318,1	0	180	0,90	0	202	0,51	0	227	0,38
nov/2008	43,3	2	303,1	0	486	2,43	0	462	1,15	0	652	1,09
Pousio	**101,5**	**4**	**621,2**	**0**	**666**	**3,33**	**0**	**664**	**1,66**	**0**	**880**	**1,47**
dez/2008	172,6	7	847,2	0	1811	9,05	0	1791	4,48	0	2037	3,39
jan/2009	160,5	8	792,0	0	1481	7,40	0	1253	3,13	0	1388	2,31
fev/2009	149,9	6	1081,8	0	1408	7,04	0	1640	4,10	0	1966	3,28
mar/2009	71,7	4	248,4	0	416	2,08	0	360	0,90	0	320	0,53
abr/2009	19,0	1	24,3	0	50	0,25	0	53	0,13	0	8	0,01
mai/2009	8,8	1	36,8	0	124	0,62	0	127	0,32	0	121	0,20
Milho 2008/2009	**582,5**	**27**	**3030,5**	**0**	**5289**	**26,45**	**0**	**5225**	**13,06**	**0**	**5839**	**9,73**
Total	**758,8**	**34**	**3910,0**	**0**	**6329**	**31,65**	**0**	**6267**	**15,67**	**0**	**7129**	**11,88**

O valor absoluto calculado do índice EI_{30} para as chuvas erosivas do Ensaio 1, no período do experimento, foi de 3.910 MJ mm ha^{-1} h^{-1} (Tabela 19). Observou-se uma concentração desse índice na safra de milho 2008/2009, sendo responsável por 77,5% da erosividade total. A maior ocorrência de chuvas intensas e de grande capacidade erosiva foi observada nos meses de dezembro de 2008, janeiro e fevereiro de 2009 (847,2; 792,0 e 1.081,8 MJ mm ha^{-1} h^{-1} respectivamente). Apesar da elevada erosividade da chuva concentrada nesses meses, não foi observada produção de sedimentos nas parcelas do Ensaio 1. Isso aconteceu, provavelmente, em função da proteção da superfície do solo pela cobertura vegetal formada pelo sistema plantio direto, que dissipa a energia cinética das gotas de chuva, evitando a desagregação das partículas de solo e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos na enxurrada (COGO et al., 1984). Além disso, a ampliação dos comprimentos de rampa nessa condição de baixa declividade não aumentou a energia cisalhante da enxurrada a ponto de causar a remoção dos resíduos vegetais da superfície e o aumento na taxa de erosão do solo nas parcelas, semelhante ao observado por FOSTER et al. (1982).

Analisando as perdas de água do Ensaio 1 durante o período do experimento (Tabela 19) verificou-se que os volumes totais escoados nas parcelas de 25 e 50 m de comprimento de rampa foram próximos (6.329 e 6.267 L respectivamente) e na parcela de 75 m o volume total de enxurrada observado foi de 7.129 L. Apesar do maior volume de água escoado, essa parcela apresentou a menor perda total de água, por unidade de área, entre as parcelas do Ensaio 1 (11,88 mm). As reduções nas perdas de água por unidade de área, em sistema plantio direto semeado em contorno, com o comprimento de rampa de 75 m foram de 50,5 e 24,2% em relação às parcelas de 25 e 50 m de comprimento de lançante respectivamente. Esse comportamento foi observado tanto no ciclo das culturas (aveia preta e milho) quanto no período de pousio. Essas reduções nas perdas de água, por unidade de área, devem-se à maior possibilidade que a água tem de se infiltrar ou evaporar, devido ao aumento do percurso percorrido pela enxurrada na superfície do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2008).

A figura 14 apresenta os resultados das perdas de água por unidade de área em função dos valores do índice de erosividade da chuva correspondente (EI_{30}). A relação entre o EI_{30} e as perdas de água segue um modelo de 2º grau, para os três comprimentos de rampa estudados, com coeficientes de regressão entre 0,68 e 0,72 significativos. Nessa relação também é demonstrado o efeito do aumento do comprimento de rampa na redução do volume escoado por unidade de área.

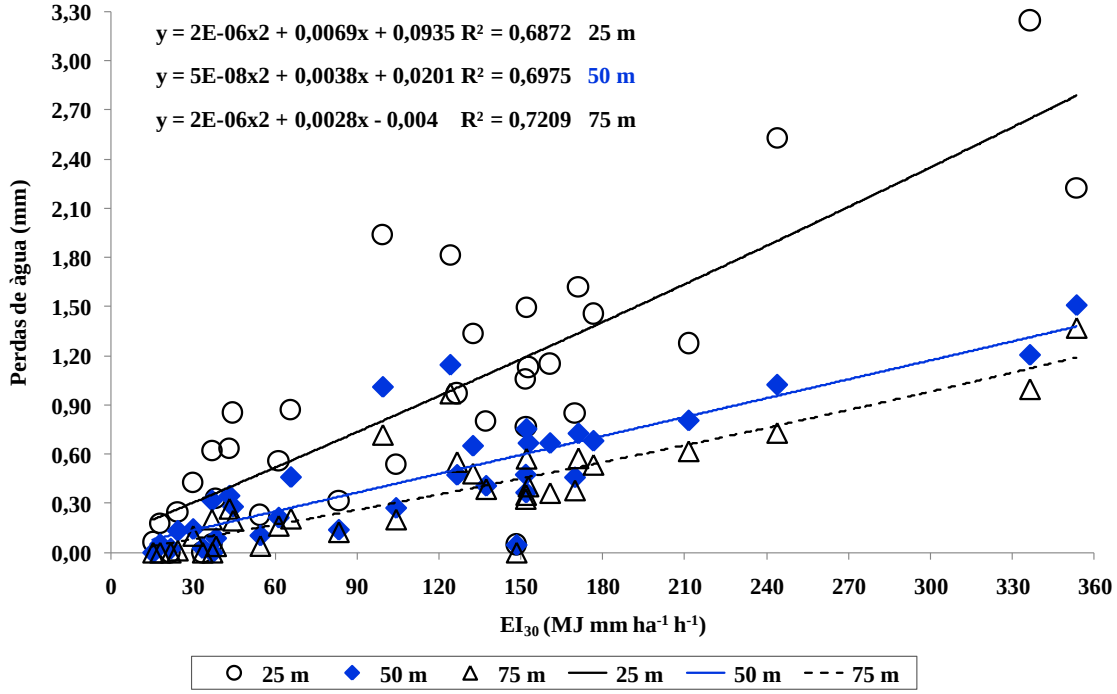


Figura 14 - Relação entre índice EI_{30} e as perdas de água, por unidade de área, de 34 chuvas erosivas medidas nas parcelas do Ensaio 1, de 13/5/2008 a 12/5/2009, em Campinas-SP.

4.4.2 Perdas de água e solo no Ensaio 2

Das 111 chuvas ocorridas no período do experimento, somente 30 chuvas causaram escoamento superficial nas parcelas do Ensaio 2. Duas chuvas foram classificadas como não erosivas, sendo as outras 28 consideradas erosivas (Anexo 3), as quais representaram quase 55% (647,3 mm) do volume total precipitado entre 13/5/2008 e 12/5/2009 (Tabela 20). Essas chuvas se caracterizaram por volume médio de 23,1 mm, desvio padrão de 8,3 mm e coeficiente de variação de 36%.

Assim como no Ensaio 1, no Ensaio 2 as chuvas erosivas também aconteceram em maior quantidade (23 chuvas) no ciclo do milho (Tabela 20). O volume total dessas chuvas foi de 525,9 mm, com uma precipitação média de 22,9 mm, desvio padrão de 8,8 mm e coeficiente de variação de 38,4%. No período do ciclo da aveia preta ocorreram apenas duas chuvas erosivas, que se caracterizaram pela maior média de precipitação entre os ciclos desse ensaio (29,3 mm), um desvio padrão de 6,4 mm e um coeficiente de variação de 21,8%. No período de pousio foi observado um volume de chuva maior que no ciclo da aveia preta, com a média de precipitação das três chuvas erosivas igual de 20,9 mm e o coeficiente de variação de 16,3%.

Tabela 20 - Volume e frequência de chuvas erosivas, índice de erosividade da chuva (EI_{30}) e perdas de solo e água por erosão, medidos nas parcelas do Ensaio 2, por mês, ciclo cultural e total no período de 13/5/2008 a 12/5/2009, localizado no Centro Experimental Central do IAC em Campinas, SP.

Mês/Ano	Volume de Chuvas Erosivas	Frequência de Chuvas Erosivas	EI_{30}	Ensaio 2											
				MA - 50 m			MA - 75 m			EC - 50 m			EC - 75 m		
				Solo	Água		Solo	Água		Solo	Água		Solo	Água	
	mm	-	MJ mm ha^{-1} h^{-1}	Mg ha^{-1}	L	mm	Mg ha^{-1}	L	mm	Mg ha^{-1}	L	mm	Mg ha^{-1}	L	mm
mai/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
jun/2008	58,6	2	236,6	0	865	0,69	0	634	0,34	0	715	0,57	0	612	0,33
jul/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ago/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
set/2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aveia Preta 2008	**58,6**	**2**	**236,6**	**0**	**865**	**0,69**	**0**	**634**	**0,34**	**0**	**715**	**0,57**	**0**	**612**	**0,33**
out/2008	19,5	1	169,7	0	518	0,41	0	204	0,11	0	323	0,26	0	322	0,17
nov/2008	43,3	2	303,1	0	1049	0,84	0	660	0,35	0	963	0,77	0	755	0,40
Pousio	**62,8**	**3**	**472,8**	**0**	**1567**	**1,25**	**0**	**864**	**0,46**	**0**	**1286**	**1,03**	**0**	**1077**	**0,57**
dez/2008	157,0	6	810,2	0	3426	2,74	0	2534	1,35	0	3256	2,61	0	2895	1,54
jan/2009	147,5	7	776,8	0	1789	1,43	0	1606	0,86	0	1887	1,51	0	1959	1,04
fev/2009	136,9	5	1048,4	0	2461	1,97	0	2521	1,34	0	2293	1,83	0	2426	1,29
mar/2009	56,7	3	210,2	0	303	0,24	0	270	0,14	0	175	0,14	0	253	0,13
abr/2009	19,0	1	24,3	0	0	0	0	35	0,02	0	0	0	0	174	0,09
mai/2009	8,8	1	36,8	0	112	0,09	0	26	0,01	0	88	0,07	0	68	0,04
Milho 2008/2009	**525,9**	**23**	**2906,7**	**0**	**8092**	**6,47**	**0**	**6991**	**3,73**	**0**	**7699**	**6,16**	**0**	**7775**	**4,15**
Total	**647,3**	**28**	**3616,1**	**0**	**10523**	**8,42**	**0**	**8489**	**4,53**	**0**	**9700**	**7,76**	**0**	**9464**	**5,05**

Devido à menor ocorrência de chuvas classificadas como erosivas (Tabela 20), o Ensaio 2 apresentou, no período total do experimento, um valor absoluto do índice EI_{30} inferior ao obtido no Ensaio 1 (3.616,1 MJ mm ha^{-1} h^{-1}). Apesar disso, o período com a maior participação nesse índice foi o ciclo do milho (2.906,7 MJ mm ha^{-1} h^{-1}), assim como o observado no Ensaio 1, com destaque para os meses de dezembro de 2008, janeiro e fevereiro de 2009, que representaram juntos 72,9% do valor absoluto do mesmo. Sob essas condições de erosividade da chuva não foram observadas perdas de solo nas parcelas do Ensaio 2.

Assim como no Ensaio 1, as perdas de água no Ensaio 2 se concentraram nos meses de maior ocorrência de chuvas erosivas. Os volumes totais de enxurrada foram semelhantes entre as parcelas de 50 e 75 m de comprimento de rampa semeadas em contorno (9.700 e 9.464 L respectivamente), mas quando a semeadura foi executada morro abaixo verificou-se uma diferença de 2.034 L entre os dois comprimentos de declive estudados (Tabela 20). Apesar da variação no volume total de água escoada, nesse ensaio foi observada redução nas perdas de água por unidade de área, com o aumento do comprimento de rampa, independentemente da direção em que foi feita a semeadura. Na semeadura morro abaixo, o aumento do comprimento de rampa de 50 para 75 m, diminuiu as perdas totais de água por unidade de área, no período do experimento, em 46,2%. Já para a semeadura realizada em contorno, com o aumento do comprimento de rampa de 50 para 75 m, as perdas de água reduziram-se de 7,76 para 5,05 mm (34,9%). Esse efeito foi verificado nas três condições de cobertura utilizadas no experimento: no ciclo da aveia preta, no período de pousio e no ciclo do milho.

Ao se analisar o efeito da mudança da direção de semeadura nas perdas de água, verifica-se que, para o comprimento de rampa de 50 m, a semeadura em contorno teve um volume de enxurrada total por unidade de área 7,8% menor que semeadura realizada morro abaixo (Tabela 20). O mesmo comportamento ocorreu nas três condições de cultivo do experimento, com as maiores reduções nas perdas de água sendo observadas nos períodos com a menor ocorrência de chuvas erosivas (ciclo da aveia preta e pousio). Efeito semelhante foi obtido por ANDRADE et al. (1999), variando apenas quanto ao percentual de redução de enxurrada observado (40%), e também por MARGOLIS et al. (1985), SILVA et al. (1986), ALBUQUERQUE et al. (2002), CARVALHO et al. (2009), em sistema convencional. A menor perda de água na semeadura em contorno decorre da formação de pequenos camalhões transversais ao sentido do declive na superfície do solo, que atuam como barreiras físicas retendo a água da chuva,

aumentando o tempo de permanência da água, permitindo maior infiltração e menor escoamento superficial.

Entretanto, as perdas de água no comprimento de rampa de 75 m comportaram-se de forma diferente entre os ciclos culturais estudados e em relação ao total observado nas parcelas de 50 m de comprimento de rampa (Tabela 20). No ciclo da aveia preta verificaram-se valores de perdas de água por unidade de área muito próximos entre as direções de semeadura, mas com uma pequena redução dessas a favor da orientação dos sulcos em contorno (2,9%). No período de pousio e no ciclo do milho as perdas de água por unidade de área na semeadura em contorno foram 23,9 e 11,3% maiores que as da semeadura morro abaixo respectivamente. No período completo do experimento as perdas de água por unidade de área na semeadura em contorno foram 11,5% superiores às perdas na semeadura executada morro abaixo, devido principalmente aos resultados obtidos no ciclo de maior ocorrência de chuvas erosivas (milho). Esses resultados diferem dos obtidos por COGO et al. (2007), que verificaram redução nas perdas de água na semeadura em contorno em relação ao morro abaixo, em Argissolo Vermelho distrófico típico, de textura franco arenosa, cultivado com milho em sistema plantio direto.

A diferença nas perdas de água a favor da direção morro abaixo no comprimento de 75 m, contrariando os resultados obtidos por outros autores, e também a pequena diferença a favor da direção em contorno no comprimento de 50 m, podem ter como causas fatores como tipo de solo, declividade, implementos utilizados, clima e, especialmente, o sistema de manejo. Nesse ensaio, o sistema plantio direto, com grande quantidade de palha na superfície, em um solo com alta capacidade de infiltração e relativamente baixa declividade, pode ter atenuado os efeitos da direção de semeadura, dado a palha constituir um obstáculo maior na superfície do que os pequenos camalhões feitos pelos discos da semeadora.

Na figura 15 são apresentados os resultados das perdas de água por unidade de área em função dos valores do índice de erosividade da chuva correspondente (EI_{30}) para o ensaio 2. A relação entre o EI_{30} e as perdas de água segue um modelo de 2º grau, para os quatro tratamentos estudados, com coeficientes de regressão entre 0,73 e 0,82 significativos. Nessa relação, mais uma vez, é demonstrado o efeito do aumento do comprimento de rampa na redução do volume escoado por unidade de área. No entanto, para cada comprimento de rampa, não foi observada diferença entre as curvas de regressão das direções de semeadura.

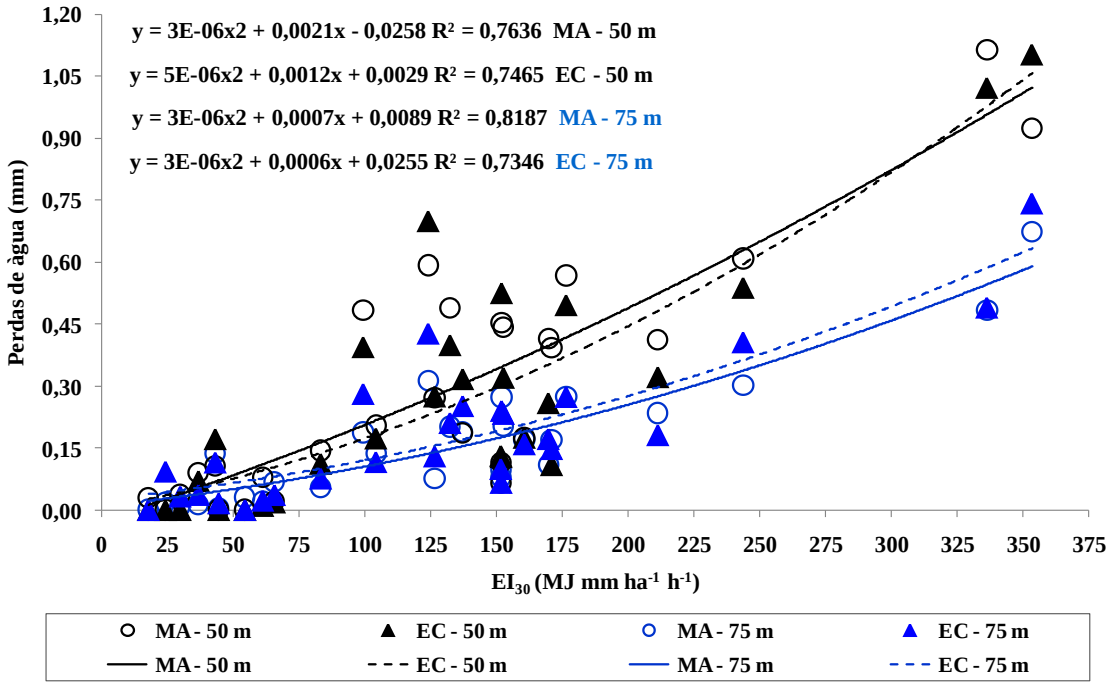


Figura 15 - Relação entre índice EI_{30} e as perdas de água, por unidade de área, de 28 chuvas erosivas medidas nas parcelas do Ensaio 2, de 13/5/2008 a 12/5/2009, em Campinas-SP.

4.5 Estimativa das perdas por erosão pela USLE

A estimativa das perdas por erosão realizada pela USLE com os fatores LS obtidos pelas equações de WISCHMEIER & SMITH (1978) e BERTONI & LOMBARDI NETO (2008) indica uma perda média anual para os dois ensaios de 1,416 e 1,603 Mg ha^{-1} ano^{-1} respectivamente (Tabelas 21 e 22). Essas perdas podem ser consideradas baixas, pois foram na média das parcelas dos ensaios cerca de 8,5 e 7,5 vezes menores que o limite de perdas de solo tolerável para os Latossolos Vermelhos distroférricos típicos (12 Mg ha^{-1} ano^{-1}) segundo BERTONI & LOMBARDI NETO (1975b).

Durante o período do experimento (13/5/2008 a 12/5/2009), entretanto, não houve produção de sedimentos em nenhuma das parcelas dos ensaios (Tabelas 19 e 20). Essa diferença entre as perdas de solo estimadas e as observadas pode ser devido a variabilidade do índice de erosividade da chuva em Campinas-SP, pois o mesmo foi, na média dos ensaios, 44,2% menor no período do experimento do que o valor médio

utilizado na estimativa da USLE (6.738 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}), que apresenta uma de variação de 3.444 a 13.830 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e um coeficiente de variação de 35,8% (LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992).

Tabela 21 - Perdas de solo estimadas pela Equação Universal de Perdas de Solo, com o fator LS obtido pela equação de WISCHMEIER & SMITH (1978).

Tratamentos	A	R	K	LS	C	P
	Mg ha^{-1} ano^{-1}	MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1}	-	-	-
			Ensaio 1			
25 m	0,730	6738	0,0122	0,611	0,0291	0,50
50 m	1,032	6738	0,0122	0,864	0,0291	0,50
75 m	1,263	6738	0,0122	1,058	0,0291	0,50
Média	1,008	6738	0,0122	0,844	0,0291	0,50
CV (%)	26,5	0,0	0,0	26,5	0,0	0,0
			Ensaio 2			
MA – 50 m	2,064	6738	0,0122	0,864	0,0291	1,00
MA – 75 m	2,527	6738	0,0122	1,058	0,0291	1,00
EC – 50 m	1,032	6738	0,0122	0,864	0,0291	0,50
EC – 75 m	1,263	6738	0,0122	1,058	0,0291	0,50
Média	1,722	6738	0,0122	0,961	0,0291	0,75
CV (%)	40,4	0,0	0,0	11,7	0,0	38,5

Tabela 22 - Perdas de solo estimadas pela Equação Universal de Perdas de Solo, com o fator LS obtido pela equação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2008).

Tratamentos	A	R	K	LS	C	P
	Mg ha^{-1} ano^{-1}	MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}	Mg ha h MJ^{-1} mm^{-1} ha^{-1}	-	-	-
			Ensaio 1			
25 m	0,739	6738	0,0122	0,619	0,0291	0,50
50 m	1,144	6738	0,0122	0,958	0,0291	0,50
75 m	1,477	6738	0,0122	1,237	0,0291	0,50
Média	1,120	6738	0,0122	0,938	0,0291	0,50
CV (%)	33,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,0
			Ensaio 2			
MA – 50 m	2,288	6738	0,0122	0,958	0,0291	1,00
MA – 75 m	2,954	6738	0,0122	1,237	0,0291	1,00
EC – 50 m	1,144	6738	0,0122	0,958	0,0291	0,50
EC – 75 m	1,477	6738	0,0122	1,237	0,0291	0,50
Média	1,966	6738	0,0122	1,098	0,0291	0,75
CV (%)	41,5	0,0	0,0	14,7	0,0	38,5

De acordo com os dados estimados pela Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) observou-se que os fatores de maior impacto no processo de erosão foram o fator topográfico (LS) e o fator práticas conservacionistas de suporte (P). O valor médio do fator LS obtido pela equação de WISCHMEIER & SMITH (1978) para o Ensaio 1 foi de 0,844, com o coeficiente de variação de 26,5% e para o Ensaio 2 foi de 0,961, com CV de 11,7%. Quando determinado pela equação de BERTONI & LOMBARDI NETO (2008) os valores médios do fator LS para os Ensaios 1 e 2 foram 11,1 e 14,3% maiores que os estabelecidos pela equação anterior (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Apesar dessas equações terem sido ajustadas a partir de dados diferentes, os valores do fator LS não apresentam grandes diferenças de magnitude, o que permite a utilização das duas equações para o cálculo desse fator para a estimativa das perdas de solo pela USLE. Já para o fator práticas conservacionistas (P) os valores médios para os Ensaios 1 e 2 foram de 0,50 e 0,75 e os coeficientes de variação de 0,0 e 38,5% respectivamente.

Os fatores erodibilidade do solo (K) e cobertura e manejo do solo e das culturas (C) apresentaram menor impacto nos valores de perdas por erosão. Isso se deve as características desse solo (grande profundidade, boa drenagem interna, elevada coesão das partículas e elevada homogeneidade ao longo do perfil,) que lhe conferem maior resistência a erosão (IBGE, 2007) e a rotação de culturas, ao não-revolvimento do solo e aos resíduos culturais deixados na superfície pelo sistema plantio direto, que reduzem as perdas de solo por erosão (BERTOL, 1995; BEUTLER et al., 2003; CERETTA et al., 2002; SCHICK et al., 2000).

Os valores de perda de solo, tanto os estimados como os medidos no campo ficaram abaixo dos níveis de tolerância, comprovando a eficiência do sistema plantio direto no controle da erosão hídrica, mesmo quando são adotados comprimentos de rampa maiores que os recomendados no cálculo do espaçamento entre terraços para esse tipo de solo e quando a semeadura das culturas é a favor do declive do terreno (morro abaixo). Esses resultados indicam que nas condições deste estudo (Latossolo Vermelho Distroférrico típico, de textura argilosa, com 6% de declividade média sob sistema plantio direto) é possível ampliar os espaçamentos entre terraços e realizar a semeadura no sentido do declive sem aumentar a ocorrência de erosão (perdas de solo).

4.6 Seção transversal do canal dos terraços para os ensaios

As seções transversais do canal dos terraços (*At*) das parcelas calculadas para as condições do experimento apresentaram diferenças em função dos valores do coeficiente de enxurrada (*c*) utilizados. As dimensões dessas estruturas foram na média dos Ensaios 1 e 2 iguais a 2,10 e 2,63 m^3 m $linear^{-1}$ (Tabela 23) respectivamente, para o coeficiente de enxurrada tabelado de 0,40 (LOMBARDI NETO et al., 1994). Quando consideramos os valores máximos de *c* obtidos nas medições das perdas de água das parcelas, verificamos que as seções transversais do canal dos terraços foram menores, com médias de 0,278 e 0,153 m^3 m $linear^{-1}$ (Tabela 24) para os Ensaios 1 e 2. Apesar da elevada variação dos valores do coeficiente *c*, esses resultados mostram que, para as condições desse estudo, podem ser utilizados terraços com dimensões menores, mesmo com aumento do espaçamento horizontal (*EH*) entre eles, pois ocorre uma redução no volume de enxurrada das áreas agrícolas em sistema plantio direto.

Tabela 23 - Área da seção transversal do canal do terraço (*At*) das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP, obtida com o coeficiente de enxurrada (*c*) apresentado por LOMBARDI NETO et al. (1994).

Tratamento	At	EH	h	c
	m^3 m $linear^{-1}$	m^2 m $linear^{-1}$	m	-
		Ensaio 1		
25 m	1,05	25	0,105	0,40
50 m	2,10	50	0,105	0,40
75 m	3,15	75	0,105	0,40
Média	2,10	50	0,105	0,40
CV (%)	50,0	50,0	0,0	0,0
		Ensaio 2		
MA - 50 m	2,10	50	0,105	0,40
MA - 75 m	3,15	75	0,105	0,40
EC - 50 m	2,10	50	0,105	0,40
EC - 75 m	3,15	75	0,105	0,40
Média	2,63	62,5	0,105	0,40
CV (%)	23,1	23,1	0,0	0,0

Tabela 24 - Área da seção transversal do canal do terraço (*At*) das parcelas dos ensaios 1 e 2, localizados no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP, obtida com o coeficiente de enxurrada (*c*) máximo determinado pela relação entre as perdas diárias de água e o volume diário de chuvas de 13/5/2008 a 12/5/2009.

Tratamento	At	EH	h	c
	m^3 m $linear^{-1}$	m^2 m $linear^{-1}$	m	-
		Ensaio 1		
25 m	0,215	25	0,105	0,082(1)
50 m	0,273	50	0,105	0,052(1)
75 m	0,347	75	0,105	0,044(1)
Média	0,278	50	0,105	0,059
CV (%)	23,8	50,0	0,0	33,8
		Ensaio 2		
MA - 50 m	0,147	50	0,105	0,028(2)
MA - 75 m	0,142	75	0,105	0,018(3)
EC - 50 m	0,163	50	0,105	0,031(1)
EC - 75 m	0,158	75	0,105	0,020(3)
Média	0,153	62,5	0,105	0,024
CV (%)	6,3	23,1	0,0	25,7

Valores máximos de c obtidos nos dias (1) 24/12/2008, (2) 21/12/2008 e (3) 09/02/2009.

5 CONCLUSÕES

No Latossolo Vermelho Distroférrico típico, de textura argilosa, com 6% de declividade média sob sistema plantio direto há mais de 6 anos:

a) As perdas de solo são mínimas (medidas e estimadas) e as perdas de água bastante reduzidas até 75 m de comprimento de rampa;

b) A distância entre terraços pode ser ampliada no sistema plantio direto para o solo e o declive estudados, independente da direção de semeadura;

c) A direção de semeadura não influenciou o controle das perdas de água (enxurrada) nas condições deste estudo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 136-141, 2002.

ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R .E.; LARSON, W. E.; HOLT, R. F. Total porosity and random roughness of the interrow zones influenced by tillage. **USA Conserv. Res. Rep.**, v. 7, p. 1-14, 1966.

ALMEIDA, F. S. **Controle de plantas daninhas em plantio direto**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1991. 34 p. (Circular, 67)

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

ALVES, A. G. C., COGO, N. P., LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal morta. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 19, p. 127-132, 1995.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2145-2155, 2008.

ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; DINIZ, E. J.; SANTIAGO, R. D.; OLIVEIRA, P. K. B. Perdas de solo e água por erosão num Latossolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes práticas agrícolas. **Agropecuária Técnica**, v. 20, n. 1, p.14-19, 1999.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, p. 425-435, 2005.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and Definitions for Soil Tillage and-Soil Tool Relationships. In: **ASAE Standards 2006:**

Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph, 2005. p. 131-134. (ASAE EP291.3)

BENATTI JÚNIOR, R.; FRANÇA, G. V.; MOREIRA, C. A. **Manejo convencional e reduzido em quatro tipos de solos na cultura do milho em São Paulo**. Fundação Cargill, 1983. 68 p.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. 1995. 185 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 267-271, 1994.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 28, p. 155-163, 2004.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A.; BARBOSA, F. T.; BRIGNONI, L. F. Relações da rugosidade superficial do solo com o volume de chuva e com a estabilidade de agregados em água. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p. 543-553, 2006.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 417-425, 2000a.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência de resíduos culturais. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 409-418, 1997a.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 11, p. 187-192, 1987.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 133-142, 2007a.

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 tipos de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, p. 545-552, 2002.

BERTOL, I; SCHICK, J; MASSARIOL, J. M; REIS, E. F.; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000b.

BERTOL, O. J. RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p. 781-792, 2007b.

BERTOL, O. J.; AMADO, T. J. C.; SCHLOSSER, J. F.; REINERT, D. J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 257-262, 1997b.

BERTONI, J. **Espaçamento de terraços para os solos do Estado**. Campinas: Instituto Agronômico, 1978. 4 p.

BERTONI, J. O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.

BERTONI, J. Sistemas coletores para determinações de perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 147-155, 1949.

BERTONI, J. **Tabela para espaçamento de terraços de base larga em culturas anuais e de terraços de base estreita (cordões em contorno) em culturas perenes**. Campinas: Instituto Agronômico, 1972. 1 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2008. 355 p.

BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. **Conclusões gerais de pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 57 p. (Circular, 20)

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 509-517, 2003.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 23, p. 711-721, 1999.

BRAUNACK, M. V.; DEXTER, A. R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil. Till. Res.**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 259-279, 1989.

BURWELL, R. E.;LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage induce random roughness and pore space. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 33, p. 449-452, 1969.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.

CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 77 p. (Boletim técnico, 106)

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 3-9, 2009.

CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; VERONESE JÚNIOR, V. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 175-183, 2004.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema Plantio Direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p. 333-370.

CASTRO, L. G. **Dinâmica da água em terraços de infiltração**. 2001. 104 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p. 339-352, 2006.

CASTRO, O. M. de. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 26, p. 163-171, 2002.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. 1981. 346 p. Tese (Doutorado) - Purdue University, West Lafayette.

COGO, N.; 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. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, p. 743-753, 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 48, p. 368-373, 1984.

COGO, N. P.; PORTELA, J. C.; AMARAL, A. J.; TREIN, C. R.; GILLES, L.; BAGATINI T.; CHAGAS, J. P. Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. **Resumos Expandidos** em CD ROM. Gramado: SBCS e UFGRS, 2007.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRUCIANI, D. E. Dimensionamento de sistemas de drenagem superficial e terraços com base nas características hidrológicas locais. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (Coords.). **Simpósio sobre Terraceamento Agrícola.** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 26-59.

CURRENCE, H. D.; LOVELY, W. G. The analysis of soil surface roughness. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 13, p. 710-714, 1970.

DE MARIA, I. C. **Erosão e Terraços em Plantio Direto**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 17-22, 1999.

DE MARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 263-270, 1997.

DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 51, p. 71-79, 1999.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; BERTON, A.; TROMBETTA, A.; FALCÃO, H. **Terraceamento em Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1998. 4 p. (Comunicado técnico, 8)

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A; SATTLER, A.; MANHAGO, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p. 2847-2852, 2008.

DENARDIN, J. E.; KOCHHAN, R. A.; FLORES, C. A.; FERREIRA, T. N.; CASSOL, E. A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R. A. **Manejo da enxurrada em sistema plantio direto**. Fórum Estadual de Solo e Água. Porto Alegre: EMATER-RS, NRS-SBCS, 2005. 88 p.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 11, n. 1, p. 199-238, 1988.

DISSMEYER, G. E.; FOSTER, G. R. Estimating the cover management factor (C) in the universal soil loss equation for forest conditions. **J. Soil Water Cons.**, Ankeny, v. 36, p. 235-240, 1981.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model water retention curves (SWRC Version 2.0). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

DUARTE, A. P.; PATERNIANI, M. E. A. (Coords.). **Fatores bióticos e abióticos em cultivares de milho e estratificação ambiental**: **avaliação IAC/CATI/EMPRESAS - 1999/2000**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 150 p. (Boletim científico, 5)

DULEY, F. L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 4, p. 60-64, 1939.

ELLISON, W. D. **Estudios sobre erosion del suelo**. Buenos Aires: INTA - Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária, Fevereiro, 1963. 95 p. (Informes técnicos, nº 62)

ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; GUERRA, M.; ABRÃO, P. U. R. Perdas de solo e água por erosão em diferentes sistemas de manejo e coberturas vegetais em solo São Pedro (Podzólico Vermelho Amarelo) sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 8, p. 245-249, 1984.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Práticas de Conservação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1980. 88 p. (SNLCS, Série Miscelânea, 3)

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D.; MANNERING, J. V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros, em dois solos (Typic Argiaquoll e Typic Hapludalf). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 329-333, 1983.

FERNANDES, M. R. Terraceamento na região sudeste: observações gerais básicas. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (Coords.). **Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 18-22.

FLANAGAN, D. C.; ASCOUGH II, J. C.; NICKS, A. D.; NEARING, M. A.; LAFLEN, J. M. Overview of the WEPP erosion prediction model. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (Eds.). **Water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation**. West Lafayette: United States Department of Agriculture/National Soil Erosion Research Laboratory, 1995. p. 1.1-1.12 (NSERL Report, 10)

FOLLET, R. F; PETERSON, G. A. Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 1, p. 141-147, 1988.

FOSTER, G. R.; JOHNSON, C. B.; MOLDENHAUER, W. C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 25, n. 4, p. 940-947, 1982.

GARCIA, S. M.; RIGHES, A. A. *Vertical mulching* e manejo da água em semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, p. 833-842, 2008.

GENUCHTEN, M. Th. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsatured soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 44, p. 892-897, 1980.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 153-159, 2000.

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D. F.; MATOS, A. D. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas. Estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá, PR. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 299-303, 2000.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, D. D. Modelo para dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 696-704, 2005.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES Jr., M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 21, p. 667-676, 1997.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 324 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. Manuais técnicos em geociências, n. 4.

JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob: Manual de Utilização**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Eds.). **Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510 (Agronomy Series, 9)

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21-28, 2006.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - Perdas de água e solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1033-1044, 2004.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.

LINDSTROM, W. J.; SCHUMACHER, T. E.; COGO, N. P.; BLECHA, M. L. Tillage effects on water runoff and soil erosion after sod. **J. Soil Water Conserv.**, Ankeny, v. 53, p. 59-63, 1998.

LOMBARDI NETO, F. Plantio em nível. In: BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; DRUGOWICH, M. I.; ANDRADE, N. O.; GALETI, P. A.; BELINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, S. C. F. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.** Campinas: CATI, 1994. v. 4: Tecnologias disponíveis para controlar o escorrimento superficial do solo, p. 3-6. (Manual técnico, 41)

LOMBARDI NETO, F.; BELINAZZI JÚNIOR, R.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; BERTOLINI, D.; GALETI, P. A.; DRUGOWICH, M. I. Terraceamento agrícola. In: BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B.; DRUGOWICH, M. I.; ANDRADE, N. O.; GALETI, P. A.; BELINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, S. C. F. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água.** Campinas: CATI, 1994. v. 4: Tecnologias disponíveis para controlar o escorrimento superficial do solo, p. 11-35. (Manual técnico, 41)

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (Coords.). **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 99-124.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975a. 12 p. (Boletim técnico, 27)

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1975b. 12 p. (Boletim técnico, 28)

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; VÁSQUEZ, 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**, Viçosa, v. 33, p. 669-676, 2009.

MARGOLIS, E.; SILVA, A. B. de; REIS, O. V. de. Controle da erosão com diferentes práticas conservacionistas num solo Litólico de Caruaru (PE). **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, p. 161-164, 1985.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; BARRETO, G. B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 1143-1181, 1961.

MELLO, E. L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Perdas de solo e água em diferentes sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico submetido à chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 27, p. 901-909, 2003.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; SILVA, K. O.; JONG VAN LIER, Q. de; VILLA NOVA, N. A. Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 169-174, 2004.

MORAIS, L. F. B.; COGO, N. P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema semeadura direta em um Argissolo Vermelho da Depressão Central (RS). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 25; p. 1041-1051, 2001.

NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Terrace. In: **NRCS-USDA: Conservation practice standards**. Virginia: NRCS, 2003. p. 1-11. (Technical Guide, Section IV, Code 600)

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo por 20 anos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, G. C.; PEREIRA, J. C.; MESQUITA, M. da G. B. F. Espaçamento entre terraços em função dos fatores que afetam as perdas por erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16 n. 176. p. 51-56, 1992.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-120087, 2002.

PECHE FILHO, A.; MENEZES, J. F.; COELHO, J. L. D.; MAZIERO, J. V. G.; YANAI, K.; PECHE, A. T. M.; CORRÊA, I. M.; BERNARDI, J. A. Construção de terraços: máquinas e implementos disponíveis no Brasil. In: LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R. (Coords.). **Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**, Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 136-167.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 477 p.

PRIMAVESI, A. C.; RODRIGUES, A. A; GODOY; R. **Recomendações técnicas para o cultivo de aveia**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2000. 39 p. (Boletim de pesquisa, 6)

PRUSKI, F. F.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. da. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica em áreas agrícolas. In: PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e da água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV. 2006. p. 133-170.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous *in situ* measurements in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity-pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, v. 6, p. 84-95, 1986.

ROLIM, G. S; CAMARGO, M. B. P de; LANIA, D. G; MORAES, J. F. de. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

SALES, S. J. **Análise comparativa de metodologias para espaçamento entre terraços**. 1998. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema Plantio Direto - O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Dourados: Embrapa- CPAO, Brasília: Embrapa - SPI, 248 p., 1998. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas)

SARVASI, F. O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. 1994. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JR., A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 24, p. 427-436, 2000.

SEGANFREDO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.21, p 287-291, 1997.

SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634 p. (Boletim, 12)

SIDIRAS, N.; HENKLAIN, J. C.; DERPSCH, R. Comparison of three different tillage system with respect to aggregate stability, the soil and water conservation and the yields of soybean and wheat on an oxisol. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, 9., Osijek, 1982. **Anais**. Osijek: ISTRO, 1982. p. 537-544.

SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P.; CAMPOS FILHO, C. R.; OLIVEIRA, F. A. P. Efeito de diferentes coberturas vegetais e de práticas conservacionistas no controle da erosão. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 10, p. 289-292, 1986.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênesis, 2000. p. 45-62.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2485-2492, 2000.

SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na Região do Cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 327-334, 2004.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf. **STAB - Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, jan./fev. 1983.

TIMOSSI, P. C; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

TISCARENO-LOPEZ, M.; LOPES, V. L.; STONE, J. J.; LANE, L. J. Sensitivity analysis of the WEPP watershed model for rangeland applications. In: Hill slope processes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n. 6, p. 1659-1672, 1993.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

VIEIRA, S. R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agronômico**, Campinas, v. 47-50, p. 32-33, 1995-1998.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 15, p. 93-98, 1991.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

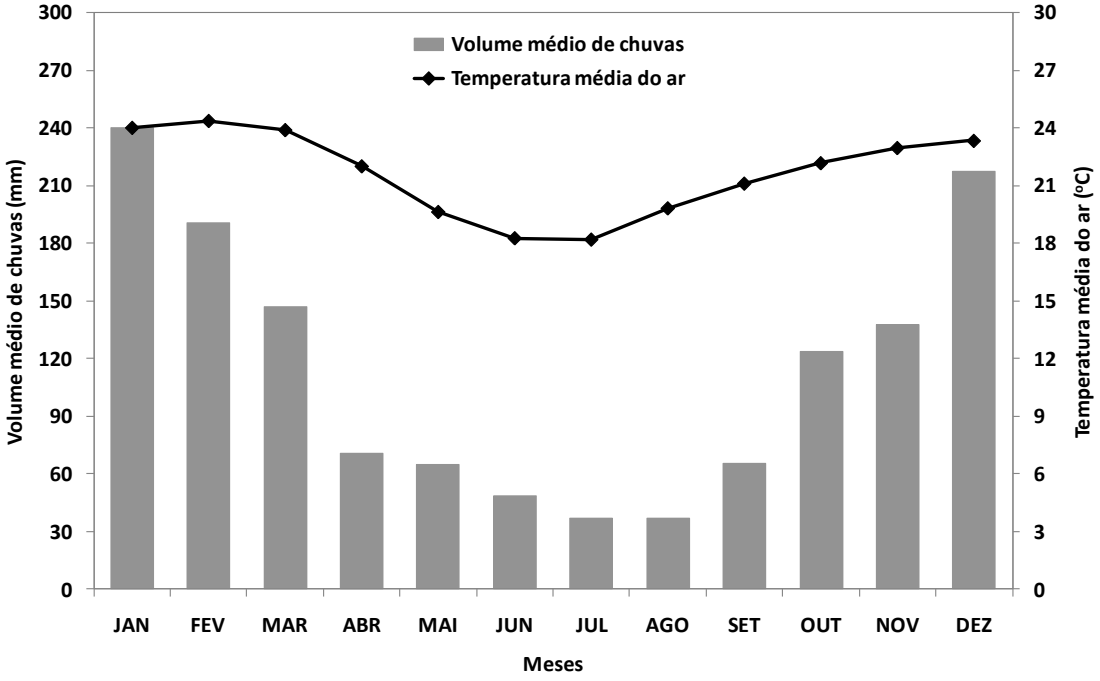
WISCHMEIER, W. H. Cropping-management factor for a universal soil-loss equation. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 24, p. 322-326, 1960.

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

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains**. Washington: USDA - Agricultural Research, 1965. 47 p. (Agricultural Handbook, 282)

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 56, p. 1743-1750, 1992.

ANEXOS



Anexo 1 - Médias mensais de volume de chuvas e temperatura do ar no período de 1961 a 1990, em Campinas-SP. FONTE: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica - IAC.

Anexo 2 - Volume de chuvas erosivas, perdas de água e coeficiente de enxurrada (*c*) diários para as parcelas do Ensaio 1, localizado no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP.

Data	Volume de Chuvas Erosivas	Ensaio 1								
		25 m			50 m			75 m		
		Água		c	Água		c	Água		c
	mm	l	mm	-	l	mm	-	l	mm	-
01/06/2008	24,8	108	0,538	0,022	109	0,272	0,011	121	0,202	0,008
04/06/2008	33,8	267	1,334	0,039	260	0,651	0,019	289	0,482	0,014
03/08/2008	16,2	0	0,000	0,000	10	0,024	0,001	0	0,000	0,000
02/10/2008	38,7	10	0,049	0,001	19	0,047	0,001	0	0,000	0,000
26/10/2008	19,5	170	0,850	0,044	183	0,458	0,024	227	0,379	0,019
07/11/2008	18,5	195	0,973	0,053	189	0,474	0,026	331	0,552	0,030
08/11/2008	24,8	291	1,457	0,059	272	0,681	0,027	321	0,535	0,022
03/12/2008	22,9	46	0,229	0,010	42	0,104	0,005	24	0,041	0,002
12/12/2008	15,6	10	0,051	0,003	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
17/12/2008	25,7	226	1,132	0,044	267	0,667	0,026	242	0,403	0,016
21/12/2008	40,2	649	3,246	0,081	482	1,205	0,030	598	0,996	0,025
22/12/2008	14,9	128	0,638	0,043	139	0,346	0,023	160	0,267	0,018
24/12/2008	22,2	363	1,816	0,082	458	1,144	0,052	582	0,970	0,044
25/12/2008	31,1	388	1,941	0,062	404	1,010	0,032	431	0,718	0,023
02/01/2009	15,3	171	0,854	0,056	112	0,280	0,018	117	0,195	0,013
04/01/2009	13,0	13	0,064	0,005	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
14/01/2009	18,4	211	1,056	0,057	190	0,475	0,026	196	0,327	0,018
15/01/2009	11,4	36	0,178	0,016	20	0,051	0,004	0	0,000	0,000
17/01/2009	23,0	299	1,494	0,065	302	0,754	0,033	343	0,572	0,025
18/01/2009	10,3	85	0,425	0,041	57	0,144	0,014	61	0,102	0,010
21/01/2009	37,2	506	2,531	0,068	409	1,023	0,028	438	0,730	0,020
28/01/2009	31,9	160	0,801	0,025	163	0,407	0,013	232	0,387	0,012
03/02/2009	24,7	231	1,153	0,047	267	0,667	0,027	218	0,363	0,015
09/02/2009	37,2	445	2,225	0,060	603	1,508	0,041	822	1,369	0,037
10/02/2009	23,6	255	1,277	0,054	322	0,805	0,034	371	0,618	0,026
12/02/2009	19,6	153	0,766	0,039	146	0,366	0,019	211	0,351	0,018
15/02/2009	31,8	324	1,620	0,051	291	0,727	0,023	345	0,575	0,018
24/02/2009	13,0	0	0,000	0,000	11	0,027	0,002	0	0,000	0,000
12/03/2009	15,0	66	0,329	0,022	35	0,087	0,006	24	0,039	0,003
13/03/2009	24,4	175	0,873	0,036	184	0,460	0,019	124	0,207	0,008
14/03/2009	13,7	112	0,560	0,041	85	0,213	0,016	98	0,163	0,012
29/03/2009	18,6	63	0,317	0,017	56	0,139	0,007	75	0,125	0,007
14/04/2009	19,0	50	0,248	0,013	53	0,133	0,007	8	0,013	0,001
05/05/2009	8,8	124	0,619	0,070	127	0,318	0,036	121	0,202	0,023

Anexo 3 - Volume de chuvas erosivas, perdas de água e coeficiente de enxurrada (*c*) diários para as parcelas do Ensaio 2, localizado no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP.

Data	Volume de Chuvas Erosivas	Ensaio 2											
		MA - 50 m			MA - 75 m			EC - 50 m			EC - 75 m		
		Água		c	Água		c	Água		c	Água		c
	mm	l	mm	-	l	mm	-	l	mm	-	l	mm	-
01/06/2008	24,8	255	0,204	0,008	257	0,137	0,006	216	0,173	0,007	217	0,116	0,005
04/06/2008	33,8	610	0,488	0,014	377	0,201	0,006	499	0,399	0,012	394	0,210	0,006
26/10/2008	19,5	518	0,414	0,021	204	0,109	0,006	323	0,259	0,013	322	0,172	0,009
07/11/2008	18,5	340	0,272	0,015	144	0,077	0,004	343	0,275	0,015	243	0,130	0,007
08/11/2008	24,8	709	0,567	0,023	516	0,275	0,011	619	0,496	0,020	512	0,273	0,011
03/12/2008	22,9	0	0,000	0,000	57	0,030	0,001	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
17/12/2008	25,7	553	0,443	0,017	379	0,202	0,008	400	0,320	0,012	436	0,232	0,009
21/12/2008	40,2	1393	1,115	0,028	905	0,483	0,012	1276	1,021	0,025	918	0,489	0,012
22/12/2008	14,9	134	0,107	0,007	255	0,136	0,009	214	0,171	0,012	215	0,115	0,008
24/12/2008	22,2	741	0,593	0,027	587	0,313	0,014	873	0,699	0,031	800	0,426	0,019
25/12/2008	31,1	605	0,484	0,016	351	0,187	0,006	492	0,394	0,013	526	0,281	0,009
02/01/2009	15,3	0	0,000	0,000	9	0,005	0,000	0	0,000	0,000	31	0,016	0,001
14/01/2009	18,4	144	0,115	0,006	146	0,078	0,004	164	0,131	0,007	186	0,099	0,005
15/01/2009	11,4	37	0,030	0,003	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
17/01/2009	23,0	567	0,454	0,020	512	0,273	0,012	656	0,525	0,023	449	0,240	0,010
18/01/2009	10,3	47	0,038	0,004	16	0,009	0,001	0	0,000	0,000	61	0,033	0,003
21/01/2009	37,2	761	0,609	0,016	567	0,303	0,008	672	0,537	0,014	760	0,405	0,011
28/01/2009	31,9	233	0,186	0,006	355	0,189	0,006	396	0,317	0,010	471	0,251	0,008
03/02/2009	24,7	217	0,174	0,007	319	0,170	0,007	218	0,175	0,007	298	0,159	0,006
09/02/2009	37,2	1156	0,925	0,025	1263	0,674	0,018	1377	1,102	0,030	1390	0,741	0,020
10/02/2009	23,6	516	0,412	0,017	440	0,235	0,010	402	0,321	0,014	339	0,181	0,008
12/02/2009	19,6	81	0,065	0,003	182	0,097	0,005	160	0,128	0,007	123	0,066	0,003
15/02/2009	31,8	492	0,393	0,012	317	0,169	0,005	136	0,109	0,003	276	0,147	0,005
13/03/2009	24,4	25	0,020	0,001	126	0,067	0,003	23	0,018	0,001	68	0,036	0,001
14/03/2009	13,7	98	0,079	0,006	41	0,022	0,002	12	0,010	0,001	42	0,023	0,002
29/03/2009	18,6	180	0,144	0,008	102	0,055	0,003	140	0,112	0,006	143	0,076	0,004
14/04/2009	19,0	0	0,000	0,000	35	0,019	0,001	0	0,000	0,000	174	0,093	0,005
05/05/2009	8,8	112	0,089	0,010	26	0,014	0,002	88	0,070	0,008	68	0,036	0,004

Anexo 4 - Estatística descritiva dos dados de caracterização física do Latossolo Vermelho Distroférrico típico em que foram instalados os ensaios, localizada no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP.

Atributo	Unidade	n	Média	Desvio Padrão	CV (%)	D	Tipo de distribuição
D_s	Mg m^3	63	1,30	0,07	5,0	0,05	Normal
PT	$m^3\ m^{-3}$	63	0,52	0,03	5,7	0,10	Normal
Mi	$m^3\ m^{-3}$	63	0,39	0,02	5,7	0,07	Normal
Ma	$m^3\ m^{-3}$	63	0,13	0,03	20,3	0,13	Normal
Inf	mm h^{-1}	87	198,75	108,55	54,6	0,14	Não Normal
K_θ	mm h^{-1}	87	45,77	24,75	54,1	0,14	Não Normal
DMP	mm	21	1,08	0,21	19,3	0,15	Normal
RP $_{0,00\text{-}0,10\ m}$	MPa	87	3,13	1,89	60,5	0,20	Não Normal
RP $_{0,10\text{-}0,20\ m}$	MPa	87	4,07	2,34	57,4	0,23	Não Normal
RP $_{0,20\text{-}0,30\ m}$	MPa	87	3,86	1,61	41,8	0,18	Não Normal
RP $_{0,30\text{-}0,40\ m}$	MPa	87	3,22	0,79	24,6	0,09	Normal
$U_{0,00\text{-}0,20\ m}$	g g^{-1}	7	0,226	0,081	35,9	0,147	Normal
$U_{0,20\text{-}0,40\ m}$	g g^{-1}	7	0,227	0,082	36,1	0,243	Normal
$\theta_{12\text{-}16/01}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,289	0,026	8,9	0,232	Não Normal
$\theta_{19\text{-}23/01}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,383	0,024	6,4	0,095	Normal
$\theta_{26\text{-}30/01}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,402	0,031	7,8	0,113	Normal
$\theta_{02\text{-}06/02}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,411	0,025	6,0	0,100	Normal
$\theta_{09\text{-}13/02}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,418	0,027	6,5	0,099	Normal
$\theta_{16\text{-}20/02}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,382	0,026	6,8	0,107	Normal
$\theta_{23\text{-}27/02}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,332	0,044	13,2	0,138	Normal
$\theta_{02\text{-}06/03}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,266	0,012	4,5	0,300	Não Normal
$\theta_{09\text{-}13/03}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,301	0,039	13,0	0,239	Não Normal
$\theta_{16\text{-}20/03}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,376	0,027	7,1	0,100	Normal
$\theta_{23\text{-}27/03}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,322	0,042	13,1	0,110	Normal
$\theta_{30/3\text{-}3/04}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,361	0,049	13,6	0,110	Normal
$\theta_{06\text{-}10/04}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,377	0,029	7,6	0,130	Normal
$\theta_{13\text{-}17/04}$	$m^3\ m^{-3}$	21	0,402	0,018	4,4	0,156	Normal

n = tamanho da amostra; CV (%) = coeficiente de variação; D = desvio máximo em relação à distribuição normal (Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, com 5% de probabilidade de erro); D_s = densidade do solo; *PT* = porosidade total; *Mi* = microporosidade; *Ma* = macroporosidade; *Inf* = infiltração de água; K_θ = condutividade hidráulica saturada; *DMP* = diâmetro médio ponderado; RP = resistência do solo à penetração; *U* = umidade gravimétrica; θ = umidade volumétrica.

Anexo 5 - Estatística descritiva dos dados de caracterização da superfície do solo e dos indicadores fenológicos das culturas, nos ensaios conduzidos em Latossolo Vermelho Distroférrico típico, no Centro Experimental Central do IAC, em Campinas, SP.

Atributo	Unidade	n	Média	Desvio Padrão	CV (%)	D	Tipo de distribuição
$RR_{21\ DAS}$	-	7	19,75	6,63	33,6	0,19	Normal
$RR_{9\ DDS}$	-	7	11,50	4,92	42,8	0,22	Normal
$Cob_{Av\ 24\ DDS}$	%	14	72,6	9,6	13,2	0,2	Normal
$Cob_{Av\ 38\ DDS}$	%	14	92,7	2,7	3,0	0,1	Normal
$Cob_{Av\ 63\ DDS}$	%	14	92,4	2,8	3,1	0,2	Normal
$Cob_{Av\ 76\ DDS}$	%	14	90,6	4,0	4,4	0,1	Normal
$Cob_{Av\ 101\ DDS}$	%	14	89,2	3,6	4,1	0,1	Normal
$Cob_{Av\ 115\ DDS}$	%	14	92,6	2,5	2,7	0,2	Normal
$Cob_{Mi\ 3\ DDS}$	%	14	59,5	7,4	12,4	0,1	Normal
$Cob_{Mi\ 14\ DDS}$	%	14	67,2	6,9	10,3	0,2	Normal
$Cob_{Mi\ 22\ DDS}$	%	14	80,0	4,4	5,5	0,2	Normal
$Cob_{Mi\ 28\ DDS}$	%	14	88,5	4,3	4,9	0,2	Normal
$Cob_{Mi\ 34\ DDS}$	%	14	98,0	1,6	1,7	0,2	Normal
MS_{Soja}	kg ha^{-1}	29	1.926,1	310,1	16,1	0,1	Normal
$Grãos_{Aveia}$	kg ha^{-1}	29	687,7	134,8	19,6	0,2	Normal
MS_{Aveia}	kg ha^{-1}	29	2.926,6	559,7	19,1	0,1	Normal
$Grãos_{Milho}$	kg ha^{-1}	29	8.411,3	959,4	11,4	0,1	Normal
MS_{Milho}	kg ha^{-1}	29	6.031,0	1.411,1	23,4	0,1	Normal

n = tamanho da amostra; CV (%) = coeficiente de variação; D = desvio máximo em relação à distribuição normal (Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, com 5% de probabilidade de erro); RR = índice de rugosidade aleatória; DAS = dias antes da semeadura; DDS = dias depois da semeadura; Cob_{Av} = cobertura vegetal da aveia preta; Cob_{Mi} = cobertura vegetal do milho; MS = matéria seca da parte aérea; Grãos = produção de grãos.