

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

JÚLIO CÉSAR RAMOS

**EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA PELO CULTIVO, COBERTURA DO SOLO
POR RESÍDUOS CULTURAIS E RUGOSIDADE SUPERFICIAL, EM UM
CAMBISSOLO HÚMICO**

LAGES - SC

2013

JÚLIO CÉSAR RAMOS

**EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA PELO CULTIVO, COBERTURA DO SOLO
POR RESÍDUOS CULTURAIS E RUGOSIDADE SUPERFICIAL, EM UM
CAMBISSOLO HÚMICO**

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

Orientador: Ildegardis Bertol

LAGES - SC

2013

JÚLIO CÉSAR RAMOS

**EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADA PELO CULTIVO, COBERTURA DO SOLO
POR RESÍDUOS CULTURAIS E RUGOSIDADE SUPERFICIAL, EM UM
CAMBISSOLO HÚMICO**

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

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

Prof. Dr. Ildegardis Bertol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. Fabrício Tondello Barbosa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Vieira Luciano
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:

Pesq. Dr. Luciano Gebler
Embrapa Uva e Vinho – Vacaria - RS

Lages – SC, 15/02/2013

Dedico a meus avôs Aliatar e Alidor, e a minha avó Iracema, (*in memoriam*) e a meus pais Túlio e Rita, por ter proporcionado essa realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção ao longo dos anos e principalmente por seus ensinamentos que me proporcionam fazer as escolhas certas e sem os quais não teria alcançado este feito.

Aos meus pais Túlio Ramos e Rita de Cássia Ramos, pelo incontestável apoio e incentivo no decorrer desses anos, e pelo exemplo de honestidade e humildade que pretendo sempre seguir como exemplo de vida.

Ao meu irmão Gean Carlos Ramos pela grande amizade construída nesses anos de nossas vidas, e a minha querida irmã Caroline Maiara Ramos, por fazer parte da minha vida.

Aos meus avós (*in memoriam*) Aliatar, Alidor e Iracema, por sempre terem seguido o caminho da virtude, de modo a venerar o modo como viveram. Aos meus demais parentes, que de alguma forma contribuíram e me ajudaram nessa jornada até aqui, desejo-lhes os meus mais sinceros agradecimentos.

À Lidiane Andrigueti Leolatto.

Ao professor e amigo Ildegardis Bertol, pela honra de ser seu orientado e por tudo que tem feito por mim, seja como amigo, professor ou orientador.

Aos professores do departamento de solos do CAV-UDESC, em especial meus co-orientadores Fabrício Tondello Barbosa e Álvaro Luiz Mafra, e ao professor David José Miqueluti pelo auxílio na interpretação dos dados.

Aos amigos e colegas do laboratório de Uso e Conservação do solo, Romeu, Juliana, Juscélia, José, Jefferson, Luciane, Kristiana, Jéssica, Josie, Hugo, Eduardo, Mitsui, Gabriel, Lauro, Fernando, Vinícius e demais colaboradores, pela ajuda, amizade e bons momentos vividos nesses anos.

Aos meus amigos, em especial, Murilo, Paulo, André, Mariana e Gabriela.

À UDESC pela formação profissional e a CAPES pela bolsa de estudos.

As demais pessoas que de alguma maneira contribuíram em minha vida.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

RESUMO

RAMOS, Júlio César. Erosão hídrica influenciada pelo cultivo, cobertura do solo por resíduos culturais e rugosidade superficial, em um Cambissolo Húmico. 2013. 79 pg. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – Área: Uso e Conservação do Solo e Recursos Naturais). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

A cobertura do solo dissipa a energia cinética das gotas de chuva e, da mesma forma que a rugosidade, dissipa a energia da enxurrada, armazena água e sedimentos na superfície, aumenta a infiltração, diminuindo a velocidade e o volume de enxurrada. O objetivo deste estudo foi determinar a influência e persistência dos resíduos culturais e da rugosidade superficial gerada com ou sem o cultivo do solo na erosão hídrica. Estudaram-se os tratamentos: solo cultivado e coberto por resíduos de azevém (*Lolium multiflorum*), com rugosidade mínima (SRA); solo cultivado e coberto por resíduos de ervilhaca (*Vicia sativa*), com rugosidade mínima (SRE); solo escarificado após cultivo de azevém, em que se retiraram os resíduos culturais da parte aérea e mantiveram-se apenas as raízes (SEA); solo escarificado após cultivo de ervilhaca, em que se retiraram os resíduos culturais da parte aérea e mantiveram-se apenas as raízes (SEE) e; solo sem cultivo, descoberto e escarificado (SDE). O experimento foi desenvolvido entre maio de 2011 e junho de 2012 nas dependências do Campus do CAV/UDESC, em Lages, SC. A unidade experimental continha 38,5 m² (11 m de comprimento no sentido do declive e 3,5 m de largura). Sobre os tratamentos, aplicaram-se quatro testes de chuva simulada, em quatro datas distintas, com chuvas de 90 minutos de duração e 65 mm h⁻¹ de intensidade constante, utilizando-se um simulador de chuva com braços rotatórios do tipo empuxo. A massa de resíduos e a rugosidade superficial do solo apresentaram diminuição ao longo do tempo, principalmente nos tratamentos com ervilhaca. A rugosidade superficial teve o maior decréscimo após a primeira chuva simulada e a massa vegetal após a segunda, sem interferência na cobertura do solo. O cultivo do solo diminuiu as perdas de solo em 75%, em relação ao solo sem cultivo escarificado, independente do manejo do solo. Os resíduos culturais de azevém e ervilhaca reduziram as perdas de solo em 83% em relação aos tratamentos escarificados contendo apenas as raízes das mesmas culturas. O azevém reduziu as perdas de solo em 91% em relação à ervilhaca, independente do manejo do solo. As perdas de água pela enxurrada seguiram a mesma tendência das perdas de solo nos tratamentos com cultivo, porém, com menor magnitude do que estas. Os tratamentos com cultivo apresentaram perdas de solo crescentes com o passar do tempo, principalmente quando o solo foi escarificado.

Palavras-chave: Microrelevo superficial. Resíduo cultural. Perdas de solo. Perdas de água. Chuva simulada.

ABSTRACT

RAMOS, Júlio César. Water erosion influenced by cultivate, soil cover by crop residues and surface roughness, in an Inceptisol. 2013. 79 pg. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo – Área: Uso e Conservação do Solo e Recursos Naturais). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

The soil cover and roughness dissipate the runoff energy, storing water on the surface, increasing de infiltration, store sediment and reduce the speed and volume of runoff and erosion. The crop residues dissipates the kinetic energy of raindrops and, therefore, is more effective than roughness on reducing erosion. The objective of this study was to determine the influence and persistence of crop residues and the surface roughness created with or without soil cultivation on erosion. The treatments studied were: soil farmed and covered by ryegrass residues (*Lolium multiflorum*), with minimum roughness (SRA); soil farmed and covered by vetch residues (*vicia sativa*), with minimum roughness (SRE); soil chiseled after cultivation ryegrass where withdrew the residues of shoot and maintained only the roots (SEA); soil chiseled after cultivation vetch where withdrew the residues of shoot and maintained only the roots (SEE) and; bare soil, and discovered chiseling (SDE). The experiment was developed between May 2011 and June 2012 on campus CAV/UDESC, in Lages, SC. The plots contained 38,5 m² (11 meters long by 3,5 wide). Upon the treatments, were applied four simulated rainfall tests, with 90 minutes of duration and constant rain intensity of 65 mm h⁻¹, in four distinct moments, using a simulator rainfall with arms thrust rotary type. The residue mass and the soil surface roughness showed decreased over time, especially in treatments with vetch. The surface roughness wad the largest decrease after the first simulated rainfall and the crop mass after the second, without interfere in soil cover. The soil cultivate reduced the soil loss by 75%, compared to bare soil chiseled, independent of the soil management. The cultural residues of ryegrass and vetch reduced the soil loss by 83% relative to chiseled treatments with containing only roots of the same cultures. The Ryegrass reduced the soil loss by 91% relative to vetch, independent of soil management. The water losses by runoff followed the same tendency by soil losses in cultivated soils, however, with smaller magnitude. The treatments cultivation showed increasing soil loss in the course of time, principally when the soil was chiseled.

Keywords: Surface microrelieve. Crop residues. Soil losses. Water Losses. Simulated rainfall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Unidade experimental, com 38,5 m², delimitada nas extremidades laterais e na extremidade superior por chapas galvanizadas cravadas no solo, e a calha coletora da enxurrada na extremidade inferior.....30
- Figura 2 – Visão aérea da área experimental com a demonstração das parcelas experimentais com os respectivos tratamentos, SRA: solo cultivado com resíduo de azevém; SRE: solo cultivado com resíduos de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raízes de azevém; SEE: solo escarificado com raízes de ervilhaca e SDE: solo descoberto escarificado.....31
- Figura 3 – Aparelho simulador de chuvas com braços rotatórios do tipo empuxo atuando simultaneamente em duas parcelas experimentais.....32
- Figura 4 – Vista dos tratamentos estudados antes da realização da primeira chuva simulada com (a): solo cultivado com resíduo de azevém (SRA); (b): solo cultivado com resíduos de ervilhaca (SRE); (c): solo escarificado com raízes de azevém (SEA); (e): solo escarificado com raízes de ervilhaca e (d): solo descoberto escarificado (SDE).....35
- Figura 5 – Ilustração do rugosímetro de varetas (a) e da corda marcada utilizada para determinação da cobertura do solo (b).38
- Figura 6 – Demonstração da coleta para determinação da taxa de enxurrada.40
- Figura 7 – Relação entre erosividade acumulada (EI₃₀) com a rugosidade ao acaso (RR) nos tratamentos.....54
- Figura 8 – Massa de resíduos de azevém e de ervilhaca nos quatro testes de chuva simulada e após o último teste de chuva.....57
- Figura 9 – Relação entre a velocidade do escoamento com a perda de solo.61
- Figura 10 – Relação entre a cobertura do solo por resíduos culturais com a velocidade da enxurrada.62
- Figura 11 – Relação entre o teste de chuva com a velocidade da enxurrada.63
- Figura 12 – Relação entre a velocidade do escoamento com o índice D₅₀.65

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Caracterização da área: teor de areia (AR), silte (SI) e argila (AG), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (PT), macroporos (MA), microporos (MI) e estabilidade dos agregados em água (DMP) para as profundidades de 0,0 – 0,025; 0,025 – 0,05; 0,05 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m (média das repetições). 29
- Tabela 2 – Esquema dos contrastes ortogonais aplicados nos dados obtidos. 47
- Tabela 3 – Grau de liberdade (GL), coeficiente de variação (CV) F calculado (F calc.), da análise da variância (ANOVA) do teor de água do solo na camada de 0 – 0,1 m (U1) e 0,1 – 0,2 m (U2), rugosidade ao acaso (RR), massa vegetal (MV), cobertura do solo (CS), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), diâmetro médio dos sedimentos (D₅₀), perdas de água (PA) e perdas de solo (PS). 49
- Tabela 4 – Teor de água nas camadas de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m, determinada imediatamente antes da aplicação das chuvas simuladas, nos diferentes tratamentos, em um CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico léptico, Lages – SC (média das repetições). 50
- Tabela 5 – Intensidade das chuvas simuladas aplicadas (I), quantidade de chuva aplicada em cada tratamento (Q) e quantidade de chuva natural até o período, bem como a erosividade (E_{I30}) das chuvas simuladas e das chuvas naturais do período avaliado. 51
- Tabela 6 – Índice de rugosidade ao acaso da superfície do solo (RR) antes da escarificação (AP), imediatamente antes de cada chuva simulada, após a última chuva simulada (PT4) e a média dos tratamentos e de cada teste (média das repetições). 53
- Tabela 7 – Massa de resíduos culturais e cobertura do solo nos tratamentos, antes de cada chuva simulada e a média de cada tratamento (média das repetições). 56
- Tabela 8 – Tempo de início do escoamento nos quatro testes de chuva simulada e os valores médios de cada tratamento e de cada teste (média das repetições). 58
- Tabela 9 – Velocidade de escoamento superficial dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a média de cada tratamento e de cada teste (média das repetições). 60

Tabela 10 – Diâmetro médio dos sedimentos transportados pela enxurrada dos tratamentos nos diferentes testes de chuva simulada, bem como a média dos tratamentos e dos testes (média das repetições).....	64
Tabela 11 – Perdas de água dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda média dos tratamentos e dos testes (média das repetições).....	67
Tabela 12 – Perdas de solo dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda total dos tratamentos e a perda média dos testes (média das repetições).....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	16
2.1.1 Conceito e processos da erosão hídrica do solo.....	16
2.1.2 Fatores que afetam a erosão hídrica do solo	18
2.2 COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS VEGETAIS	20
2.2.1 Importância e influência dos resíduos vegetais na erosão hídrica	20
2.2.2 Influência das plantas na agregação do solo	21
2.2.3 Fatores que influenciam a capacidade dos resíduos vegetais para reduzir a erosão hídrica	22
2.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO.....	23
2.3.1 Importância e influência da rugosidade superficial na erosão hídrica.....	23
2.3.2 Fatores que influenciam a rugosidade superficial.....	25
2.4 HIPÓTESES	26
2.5 OBJETIVOS.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL	28
3.1.2 Localização da área experimental	28
3.1.1 Solo	28
3.1.2 Histórico da área experimental	29
3.1.3 Unidade experimental.....	30
3.1.4 Delineamento experimental.....	31
3.2 SIMULADOR DE CHUVA E CHUVAS SIMULADAS.....	32
3.2.1 Simulador de chuva	32

3.2.2 Chuva simulada.....	33
3.3 TRATAMENTOS	33
3.4 DETERMINAÇÕES REALIZADAS ANTES DE CADA CHUVA SIMULADA	37
3.4.1 Rugosidade superficial do solo.....	37
3.4.2 Cobertura do solo e massa vegetal.....	38
3.4.3 Umidade inicial do solo	38
3.5 DETERMINAÇÕES REALIZADAS DURANTE A CHUVA SIMULADA.....	39
3.5.1 taxa de enxurrada	39
3.5.2 Velocidade de escoamento	40
3.5.3 Diâmetro médio dos sedimentos perdidos na enxurrada (índice D_{50})	40
3.5.4 Volume e intensidade de chuva.....	41
3.6 PROCEDIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO	41
3.6.1 Recepção e processamento das amostras.....	41
3.7 PROCEDIMENTOS REALIZADOS NO ESCRITÓRIO	42
3.7.1 Cálculo da intensidade e quantidade de chuva aplicada	42
3.7.2 Cálculo da erosividade das chuvas.....	42
3.7.3 Cálculo das perdas de solo e água	43
3.7.3.1 Ajustes realizados para as perdas de solo e água.....	44
3.7.4 Cálculo da rugosidade superficial do solo	45
3.7.5 Cálculo do diâmetro médio dos sedimentos perdidos na enxurrada (índice D_{50}).....	46
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 TEOR DE ÁGUA DO SOLO ANTECEDENTE ÀS CHUVAS SIMULADAS	50
4.2 RUGOSIDADE AO ACASO DA SUPERFÍCIE DO SOLO	53
4.3 MASSA DE RESÍDUOS CULTURAIS E COBERTURA DO SOLO.....	56

4.4 TEMPO DE INÍCIO DO ESCOAMENTO	58
4.5 VELOCIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	60
4.6 DIÂMETRO MÉDIO DOS SEDIMENTOS PERDIDOS NA ENXURRADA (ÍNDICE D ₅₀)	63
4.7 PERDAS DE ÁGUA	66
4.8 PERDAS DE SOLO.....	68
5 CONCLUSÕES	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	80

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da erosão hídrica ocorre naturalmente na superfície da terra desde os tempos remotos, sendo, inclusive, responsável pela modelagem das paisagens e pela gênese dos solos. Além disso, são vários os problemas originados direta e indiretamente pela erosão hídrica, destacando-se o empobrecimento químico gradativo do solo, a degradação física, a inutilização das áreas, o assoreamento de rios e mananciais hídricos, a potencialização de enchentes e a eutrofização das águas. A recuperação das áreas atingidas ou a mitigação dos impactos ambientais gerados direta ou indiretamente pela erosão hídrica, requerem um grande investimento econômico, tornando-se inviável em situações extremas e, impossibilitando, muitas vezes, a recuperação da capacidade produtiva da área.

Basicamente, a erosão hídrica depende dos fatores clima, relevo, características intrínsecas do solo, cobertura e manejo e práticas de suporte, sendo que, dos fatores supracitados, o fator cobertura e manejo é o fator onde pode se alterar com mais facilidade na magnitude da ocorrência deste fenômeno.

Com o advento da semeadura direta, o uso de resíduos culturais na redução da erosão hídrica tem sido um hábito constante, porém, não absoluto. A principal característica da manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo é a dissipação da energia cinética das gotas de chuva, e em parte do escoamento superficial do solo, diminuindo quase que na totalidade, o seu poder de desagregação. Além disso, os resíduos culturais atuam na armazenagem de água e na retenção dos sedimentos.

Entretanto, o revolvimento do solo também é uma prática utilizada em sistemas conservacionistas, destacando-se aqui o cultivo mínimo. Dentre as principais características do revolvimento do solo, destaca-se a rugosidade superficial do solo, que se constitui numa das condições físicas de superfície e subsuperfície do solo mais importante do ponto de vista de redução da erosão hídrica. A rugosidade tem efeito positivo na retenção e infiltração da água da chuva no solo, na redução do volume e da velocidade da enxurrada e no aprisionamento dos sedimentos erodidos.

Baseado no exposto, se observa a necessidade de realizar estudos controlados de erosão hídrica para avaliar a produção de massa na parte aérea e a persistência de resíduos culturais, a influência das raízes das culturas na magnitude

e persistência da rugosidade superficial do solo, bem como a influência destas variáveis na magnitude da erosão hídrica. O objetivo final desses estudos é fornecer parâmetros para, futuramente, subsidiar a formulação do fator C da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) e, com isso, predizer com mais confiança a erosão nas áreas agrícolas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO

2.1.1 Conceito e processos da erosão hídrica do solo

A erosão hídrica do solo é um fenômeno causado pela água que se caracteriza pela remoção das partículas para fora da área por forças gravitacionais (HUDSON, 1995), sendo constituída pelas fases de desagregação, transporte e deposição dos sedimentos (HUDSON, 1995; ELLISON, 1947; FOSTER & MEYER, 1977). As fases ocorrem simultaneamente no campo dificultando dessa forma a sua distinção. Segundo (ELLISON, 1947), a magnitude da erosão hídrica depende da capacidade de cada solo em resistir a alguma dessas três fases. A erosão hídrica pluvial é aquela causada pela ação da chuva e da enxurrada a ela associada.

A desagregação, primeira fase da erosão hídrica pluvial, consiste no desprendimento das partículas ou de agregados da massa de solo original pela ação da energia cinética das gotas de chuva ao impactarem diretamente sobre o solo e, em menor grau, pelo escoamento superficial que contém energia cisalhante (WISCHIMEIER & SMITH, 1978).

Na segunda etapa da erosão hídrica pluvial, o transporte, as partículas desprendidas da massa do solo são transportadas para fora da área original pela energia do escoamento superficial e, em menor grau pelo salpicamento do solo por meio do impacto das gotas de chuva.

A última etapa da erosão hídrica pluvial, a deposição, corresponde à sedimentação das partículas transportadas pelo fluxo superficial (HUDSON, 1995). A sedimentação ocorre quando a energia de transporte é inferior à quantidade de sedimentos presente no escoamento ou, ainda, quando a chuva sessa (ELLISON, 1947). A deposição é seletiva, sendo que as partículas mais grosseiras ou de maior densidade são depositadas primeiramente ao longo do comprimento da rampa (ELLISON, 1947).

Dependendo das condições superficiais do solo e da forma de atuação do agente erosivo, a erosão pode ocorrer na forma entre sulcos ou em sulcos (ELLISON, 1947; MEYER et al., 1975). Erosão em entre sulcos é aquela onde há a

formação de uma lâmina de água sobre a superfície do solo, sem que haja a concentração da enxurrada em sulcos (HUDSON, 1995; WISCHMEIER & SMITH, 1958). A desagregação e o transporte das partículas de solo se dão pela energia cinética gerada pelo impacto das gotas de chuva sobre o solo, e pela turbulência causada pela queda das gotas no filme de água sobre o solo (HUDSON, 1995, WISCHMEIER & SMITH 1958).

A erosão em entre sulcos pode ser imperceptível a olho nu em um solo desprotegido, porém, ela pode causar grandes perdas de solo (RENARD et al., 1997). Além disso, a quantidade de solo disponível para a erosão em sulcos depende, necessariamente, da quantidade de solo cedida pela erosão em entre sulcos. Assim, a magnitude da erosão em entre sulcos depende principalmente da capacidade da chuva em desagregar o solo, sendo também influenciada pela declividade do terreno, presença de vento, textura e estrutura do solo e espessura do filme de água formado sobre o solo (ELLISON, 1947).

A erosão em sulcos constitui uma fase sequencial, evolutiva do processo erosivo, marcada pela mudança da forma do escoamento, passando de difuso, em entre sulcos, para fluxo concentrado, na forma de sulcos de erosão (MEYER et al. 1975). Essa forma de erosão é oriunda de pequenos sulcos decorrentes do escoamento superficial, originados pela concentração da enxurrada na superfície do solo, cuja formação pode ser facilitada pela presença de marcas de preparo ou depressões naturais do terreno (BARBOSA et al., 2010; HUDSON, 1995; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A energia erosiva contida no fluxo concentrado nos sulcos é denominada cisalhante, pois corresponde à ação de uma força cortante, tangencial a superfície do solo (FOSTER et al., 1982a), sendo uma função do peso específico da água, da altura da lâmina de água e da declividade do terreno (FOSTER et al., 1982a), Apesar de raramente atingir diretamente a superfície do solo abaixo da lâmina de água do escoamento, o impacto das gotas de chuva produz turbulência no fluxo (WISCHMEIER & SMITH, 1958), aumentando a capacidade de desagregação e transporte do mesmo, por suspender e manter suspensas as partículas de solo dentro do fluxo turbulento (MEYER et al., 1975; FOSTER et al., 1982b).

2.1.2 Fatores que afetam a erosão hídrica do solo

De uma forma geral, a magnitude da erosão hídrica do solo é o produto resultante do poder da chuva em originar erosão e do solo em resistir a ela. Dentre os fatores que afetam a erosão, existem aqueles que interferem na capacidade da chuva e do escoamento em causar erosão e aqueles que condicionam ao solo uma maior resistência à erosão (RENARD et al., 1997). Dentre estes fatores, destacam-se o clima, o solo, a topografia do terreno, a cobertura e o manejo do solo e as práticas de manejo complementares (SCHICK et al., 2000; WISCHIMEIER & SMITH, 1978).

Dentro da variável climática, destaca-se a erosividade da chuva (fator R da Equação Universal de Perda de Solo). A erosividade da chuva é o índice numérico que expressa à habilidade potencial do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial em causar erosão (WISCHIMEIER & SMITH, 1978; HUDSON, 1995). De uma forma mais específica, a erosividade mede a capacidade das gotas de chuva em impactar o solo, causar salpico e turbulência e, ainda, o volume de enxurrada para desagregar e transportar partículas de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

A erosão hídrica é um processo que requer energia, e essa energia é oriunda principalmente da queda das gotas de chuva e do escoamento superficial (WISCHIMEIER & SMITH, 1958; MANNERING & MEYER, 1962). A erosividade individual de cada chuva é dependente de suas características intrínsecas tais como intensidade (WISCHMEYER & SMITH, 1958) e duração, além da frequência das chuvas. Dentre estas características, a intensidade é a mais importante na erosão hídrica (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990; HUDSON, 1995).

A erodibilidade do solo (fator K da USLE) é definida como a vulnerabilidade ou susceptibilidade do solo à erosão hídrica, sendo a recíproca da sua resistência (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). A erodibilidade é representada pela taxa de perda de solo por unidade de índice da erosividade (RENARD et al., 1997). Dois solos submetidos às mesmas condições de chuva, declividade, cobertura e manejo e práticas conservacionistas, são erodidos diferentemente. Essa diferença é devido às propriedades do solo que afetam a velocidade de infiltração de água, permeabilidade e absorção de água no solo, resistência à dispersão e ao

salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (HUDSON, 1995; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

No fator topográfico, pode-se destacar a influência da inclinação (S) e do comprimento (L) do declive na magnitude da erosão hídrica (fator LS da Equação Universal de Perda de Solo). Apesar de avaliados separadamente, os fatores L e S ocorrem simultaneamente no campo, sendo agrupados em um único fator nos estudos de erosão hídrica (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). Qualquer alteração na inclinação e no comprimento do declive afeta a erosão laminar e erosão em sulcos (RENARD et al., 1997), pois afeta diretamente no volume e a velocidade da enxurrada. Porém, a erosão aumenta proporcionalmente mais com o aumento da declividade (fator S) do que com o aumento do comprimento do declive (fator L), sendo que as perdas de solo são proporcionais ao comprimento da rampa elevado a potência média de 0,5 e à inclinação do declive elevada à potência média de 1,5 (HUDSON, 1995).

A cobertura e o manejo do solo (fator C da USLE) reflete a influência das operações de manejo do solo e da cobertura na taxa de erosão. É o fator que mais influencia a erosão hídrica (SCHICK et al., 2000; WISCHMEIER & SMITH, 1978), sendo nele aquele por meio do qual mais se pode alterar a magnitude da erosão. O fator C é dividido em subfatores devido a sua variação temporal. Essa variação é condicionada a dependência que este fator tem das inter-relações entre a cobertura do solo por resíduos, cobertura pela copa das plantas, grau de mobilização do solo pelo efeito do preparo mecânico, efeito residual do uso e manejo do solo, umidade do solo antecedente à chuva e erosividade da chuva (WISCHMEIER & SMITH, 1978; WISCHMEIER, 1975).

A cobertura do solo por resíduos culturais é muito mais eficiente do que a copa das plantas em proteger o solo, pois dissipa a energia das gotas de chuva e reduz a velocidade de escoamento. Já a copa das plantas praticamente não exerce influência na velocidade do escoamento em chuvas longas e, dependendo da altura da planta, as gotas podem readquirir sua velocidade inicial e impactar o solo. Já o efeito residual do uso e manejo do solo afeta as perdas de solo por interferir diretamente na estrutura, no teor de matéria orgânica, porosidade e densidade do solo.

As práticas complementares ou de suporte (fator P da USLE), representam a razão da perda de solo entre uma específica prática de suporte, comparada com uma área

mantida descoberta e sem cultivo (parcela padrão da USLE). As práticas de suporte visam diminuir a capacidade da chuva em desagregar o solo ou de transportar os sedimentos desagregados. Estas práticas afetam a erosão, modificando o padrão e o grau do fluxo, a direção do escoamento superficial e reduzindo a quantidade e a taxa de escoamento (RENARD & FOSTER, 1983). As práticas de suporte compreendem o cultivo em contorno, cultivo em faixas e terraceamento (RENARD et al., 1997).

2.2 COBERTURA DO SOLO POR RESÍDUOS VEGETAIS

2.2.1 Importância e influência dos resíduos vegetais na erosão hídrica

O uso de resíduos vegetais protege a superfície e preserva as propriedades físicas do solo, reduzindo assim a erosão hídrica (MANNERING & MEYER, 1962). Entretanto, a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo traz benefícios que vão além da redução da erosão do solo. Por exemplo, a manutenção dos resíduos sobre a superfície é importante na ciclagem de nutrientes e de carbono (GILMOUR et al., 1998). Em alguns solos, a diminuição do resíduo pode ocasionar uma diminuição da produção (LAFLEN & COLVIN, 1981), tendo um efeito importante na necessidade de adubação a ser aplicado.

Entretanto, a principal vantagem da cobertura do solo por resíduos vegetais é na dissipação da energia cinética das gotas de chuva, as quais, quando impactam diretamente sobre o solo, ocasionam a desagregação das partículas e o encrostamento da superfície do mesmo (MANNERING & MEYER, 1962; BERTOL, et al., 1989; DULEY 1939). Esse encrostamento do solo tem como principal característica a diminuição da porosidade total, principalmente o volume de macroporos, da camada preparada (BERTOL et al., 1989; DULEY, 1939), podendo diminuir em até 85% em um solo sem cobertura, comparado a um solo coberto e sem crosta (ELLISON, 1947).

Ao evitar o encrostamento da superfície do solo, a cobertura por resíduos vegetais proporciona uma maior infiltração de água no solo (LOPES et al., 1987a; BERTOL et al., 1987; BERTOL et al., 1989) que, por sua vez, diminui o encrostamento superficial e as perdas de solo (BERTOL, 1989; COGO, 1981). Ao

diminuir o volume de água da enxurrada, automaticamente a cobertura por resíduos diminui a energia e a capacidade do escoamento em causar desagregação e de transportar as partículas de solo (BERTOL et al., 1989; MANNERING & MEYER, 1962). Além de diminuir o volume da enxurrada, os resíduos aprisionam os sedimentos nos espaços existentes entre suas peças (LOPES et al., 1987b; BERTOL et al., 1987).

Conforme demonstrado por Bertol et al. (1989), a cobertura do solo por resíduos vegetais diminui o diâmetro médio dos agregados transportados pelo escoamento superficial, mostrando sua capacidade de filtrar os sedimentos maiores diminuindo assim, as perdas de solo (LOPES et al., 1987a; BERTOL et al., 1987; BERTOL et al., 1989). Segundo Laflen & Colvin (1981), a capacidade de armazenar sedimentos e de tamanhos maiores define a capacidade do resíduo em diminuir a erosão hídrica.

A cobertura do solo atua na diminuição da velocidade do escoamento (ELLISON, 1947). Deste modo, há uma diminuição das perdas de solo e um aumento do armazenamento de água na superfície, diminuindo também as perdas de água (LOPES et al., 1987b; BERTOL et al., 1987; BERTOL et al., 1989). Bertol et al. (1989) encontraram em um solo com 60% da superfície coberta por resíduos e sem a presença de crosta superficial, perdas de solo e água, respectivamente, 80% e 20% menores. Já em um solo encrostado, as perdas de solo e água foram, respectivamente, 90% e 33% menores na presença de resíduos vegetais do que na sua ausência (BERTOL et al., 1989). Wischmeier & Smith (1978) mostraram que com 100% da superfície coberta por resíduos vegetais, praticamente eliminou-se a perda de solo.

2.2.2 Influência das plantas na agregação do solo

As raízes das plantas influenciam fortemente na formação e na manutenção da estabilidade dos agregados do solo, devido à liberação de exsudatos orgânicos, que funcionam como agentes cimentantes e de ligação entre as partículas constituintes do solo (BRANDÃO E SILVA, 2012). Conjuntamente, ao crescerem, as raízes exercem pressão sobre as partículas de solo, quando avançam pelos espaços porosos. Além disso, ao absorverem água, as raízes aumentam a força de

coesão entre as partículas de solo adjacentes a região radícula, devido a secagem do solo.

As raízes tem um importante papel, no incremento de matéria orgânica no solo, devido o seu crescimento ao longo do perfil, contribuindo para a formação de agregados estáveis, graças a ação cimentante e aglutinante do matéria orgânica (BRANDÃO & SILVA, 2012). Dentre as espécies cultivadas, as gramíneas são mais eficientes na formação e no aumento da estabilidade dos agregados (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; BRANDÃO & SILVA, 2012), devido sua alta densidade de raízes, que promove a aproximação das partículas pela pressão ao crescerem, e pela absorção de água. Conjuntamente, as gramíneas apresentam uma grande renovação radicular e uma uniforme distribuição radicular dos exsudatos no solo, estimulando a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na estabilização dos agregados (BRANDÃO & SILVA, 2012; CAMARGO FILHO, 1999).

2.2.3 Fatores que influenciam a capacidade dos resíduos vegetais para reduzir a erosão hídrica

A capacidade dos resíduos em controlar a erosão depende de vários fatores, sendo que o principal deles é a porcentagem de solo coberto por resíduos (BERTOL et al., 1989). Segundo Schick (1999), independentemente do tipo de resíduo e do método de preparo empregado, a cobertura do solo por resíduos culturais reduz expressivamente as perdas de solo. A porcentagem de área coberta determina quanto solo será desagregado e se haverá ou não a formação de uma crosta sobre a superfície (MANNERING & MEYER, 1962).

O tipo de preparo mecânico também influencia a capacidade do resíduo em reduzir a erosão, já que afeta diretamente às condições internas do solo e a porcentagem de resíduo remanescente sobre a superfície. Da mesma forma, a declividade do terreno, o comprimento do declive e o sentido da sementeira vão interferir no volume e a velocidade da enxurrada, que, por sua vez, interferem na eficiência dos resíduos (BERTOL et al., 2010; SLONEKER & MOLDENHAUER, 1977; LAFLEN & COLVIN, 1981).

Outros fatores que interferem na capacidade do resíduo em reduzir a erosão hídrica são o tipo do resíduo e a forma de sua distribuição, juntamente com a quantidade de resíduo (SLONEKER & MOLDENHAUER, 1977). Uma Baixa

quantidade de resíduos pode deixar formar uma crosta na superfície do solo. Solos com mais resíduo diminuem a perda de solo, pois os resíduos aprisionam os sedimentos (LAFLEN & COLVIN, 1981), já que o volume de resíduo pode definir a capacidade de reter sedimentos, variando com a declividade (LAFLEN & COLVIN, 1981). A erodibilidade do solo também interfere na capacidade dos resíduos, já que alguns solos são mais facilmente transportados, tendo como consequência um menor aprisionamento pelos resíduos na superfície do solo (SLONEKER & MOLDENHAUER, 1977).

A eficácia dos resíduos e conseqüentemente do sistema de manejo em si, dentre outros aspectos, depende do conhecimento da velocidade de decomposição dos resíduos culturais mantidos sobre a superfície do solo, especialmente quando se adotam rotações de culturas (BERTOL et al., 2004).

A persistência e o efeito benéfico dos resíduos culturais dependem intrinsecamente do tipo de resíduo, já que diferentes culturas têm habilidades distintas em produzir massa vegetal e em resistir à decomposição, de acordo com a sua relação carbono/nitrogênio (GILMOUR et al., 1998). Outro fator que interfere na decomposição dos resíduos culturais é o tipo de solo. Propriedades como o teor de matéria orgânica, textura, estrutura e disponibilidade de nutrientes do solo podem acelerar ou diminuir a decomposição dos resíduos (BERTOL et al., 2004). O clima da região também afeta a persistência dos resíduos, sendo influenciada pela temperatura e disponibilidade de água do local (STROO et al., 1989).

2.3 RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO SOLO

2.3.1 Importância e influência da rugosidade superficial na erosão hídrica

A rugosidade representa o enrugamento da superfície do solo, sendo caracterizada pelo conjunto das microondulações do terreno ou, mais precisamente, pelas microelevações e microdepressões na superfície, bem como a sua distribuição espacial (CORREA et al., 2012; ALLMARRAS et al., 1966). Geralmente, os solos, em seu estado natural, apresentam uma rugosidade superficial baixa, devido ao alisamento da superfície ocasionada pela desagregação das partículas pelas gotas

de chuva, ou pelo transito sobre a superfície. A forma mais rápida e prática de se alterar a rugosidade superficial do solo é pelo uso de implementos agrícolas. O preparo do solo deve ser realizado de acordo com o objetivo e com a necessidade, mas, sempre, com a finalidade de otimizar o crescimento das plantas e manejar para reduzir a erosão hídrica (ALLMARRAS et al., 1966).

Segundo Allmarras et al. (1966) e Burwell et al. (1963), com o preparo do solo podem ser produzidos dois tipos de rugosidade. A primeira é a rugosidade orientada que é influenciada pelas marcas de preparo e pode se observar a presença de cristas (elevações) e sulcos (depressões) ordenados na superfície do terreno, podendo ocorrer em ambos os sentidos do declive. A segunda é a rugosidade ao acaso, caracterizada pela ocorrência de depressões e elevações aleatoriamente distribuídas na superfície do terreno, sem que se consiga distinguir a direção das linhas de operação.

Devido ao revolvimento e afrouxamento do solo pelo preparo mecânico, o aumento da rugosidade superficial ocasiona um aumento da porosidade interna do solo (ALLMARRAS et al., 1966). Ao aumentar a porosidade total, há um aumento da infiltração de água no solo (RÖMKENS & WANG, 1986; BERTOL, 1989; ELTZ & NORTON, 1997), e do armazenamento interno (CURRENCE & LOVELY, 1970), além do armazenamento de água nas depressões da superfície do solo (ALLMARRAS et al., 1966; BURWELL et al., 1963).

Por aumentar a infiltração no solo e o armazenamento de água na superfície, a rugosidade superficial do solo também diminui as perdas de solo e água (RÖMKENS & WANG, 1986; BERTOL et al., 1989; ALLMARRAS et al., 1966). Segundo Dexter (1977), com o aumento da rugosidade superficial do solo, há uma diminuição da erosão hídrica devido à retenção da água e dos sedimentos nas microdepressões da superfície do solo. Além disso, a rugosidade superficial do solo apresenta grande importância na redução da velocidade do escoamento superficial e sua capacidade de desagregar o solo (BERTOL et al., 1989; ELTZ & NORTON 1997). A redução da velocidade do escoamento se dá pelo aumento da resistência hidráulica imprimida pela rugosidade ao escoamento superficial, além do aumento da distância a ser percorrido pelo fluxo.

Igualmente, a alteração da rugosidade superficial do solo condiciona um aumento na área de exposição do solo ao ar e a radiação solar. Indiretamente, estas

alterações influenciam a umidade, temperatura e aeração do solo (ELTZ & NORTON 1997; CURRENCE & LOVELY, 1970).

2.3.2 Fatores que influenciam a rugosidade superficial

Conforme exposto anteriormente, a rugosidade superficial do solo depende, intrinsecamente, do revolvimento mecânico do solo (BERTOL et al., 1989; ALLMARRAS et al., 1966) e, sua magnitude, varia conforme o implemento utilizado (BURWELL & LARSON, 1969; ALLMARAS et al., 1967) e o grau ou número de operações realizadas (CORREA et al., 2012; ALLMARAS et al., 1967; BERTOL et al., 1989). Segundo Bertol et al. (1989) e Allmarras et al. (1967), quanto menor for a intensidade de mobilização do solo, maior será sua rugosidade (com exceção da semeadura direta) e, conseqüentemente, menor será a consolidação da superfície e maior será a cobertura do solo por restos culturais existentes.

Entretanto, as alterações das condições de superfície do solo não dependem somente do tipo de implemento ou da combinação de implementos utilizados. Outros fatores que podem interferir são o tipo de solo (ALLMARAS et al., 1966) e a umidade do solo no momento do preparo (ALLMARRAS et al., 1967). O tipo e a umidade do solo no momento do preparo interferem na adesão e coesão das partículas que proporcionam maior ou menor resistência do solo ao rompimento pelo implemento.

Outro fator que interfere na rugosidade após o preparo é o histórico de uso e manejo da área (ZOLDAN JUNIOR et al., 2008), conforme demonstrado por Allmaras et al. (1966), onde a rugosidade, após o preparo, foi menor no solo que havia sido cultivado com alfafa em relação as outras culturas. Similarmente, Allmaras (1967) encontrou uma amplitude de rugosidade menor ao revolver um solo recém-cultivado com milho, atribuindo essa menor magnitude à maior porosidade anterior do solo proporcionada pela cultura do milho.

A rugosidade da superfície do solo descoberto diminui conforme o passar do tempo, principalmente devido ao impacto das gotas sobre a superfície. Segundo Dexter (1977), a rugosidade diminui linearmente com o acumulo da energia da chuva. Burwell et al. (1963) e Cogo (1981) encontraram que aproximadamente 70% do decréscimo da rugosidade ao acaso ocorre durante o período anterior ao início da enxurrada em uma superfície preparada com aração e aração + gradagem + rastelo.

A principal causa da diminuição da rugosidade pela chuva é devido ao impacto das gotas diretamente sobre o solo. Essas gotas de chuva ocasionam a quebra dos torrões, o assentamento do solo e a desagregação dos agregados, depositando-os nas microdepressões (RÖMKENS & WANG, 1986). Entretanto, a diminuição mais elevada da rugosidade é devida ao selamento da superfície, diminuindo a porosidade, e pela quebra e desagregação de torrões após o umedecimento (RÖMKENS & WANG, 1986). A deposição nas microdepressões afeta menos a diminuição da rugosidade (RÖMKENS & WANG, 1986).

A velocidade com que a rugosidade é diminuída depende principalmente das propriedades do solo. Segundo Bertol et al. (2006), a diminuição da rugosidade superficial do solo se comportou inversamente com a estabilidade dos agregados do solo. Nesta mesma linha, Potter (1990) encontrou que a estabilidade da rugosidade aumenta com o teor de matéria orgânica do solo e concluiu que a estabilidade da rugosidade diminuiu com os teores de argila acima de 31%.

2.4 HIPÓTESES

1. A cultura de azevém produz maior quantidade de resíduo na sua parte aérea do que a cultura de ervilhaca, a qual cobre menos o solo e resiste menos à decomposição e, com isso, a erosão hídrica é maior sob a ervilhaca.
2. Os resíduos culturais de azevém e de ervilhaca na superfície do solo são mais eficazes na redução da erosão hídrica do que a rugosidade superficial ocasionada pela escarificação no mesmo solo contendo apenas as raízes das mesmas culturas.
3. A rugosidade superficial na presença de raízes de azevém é maior do que na presença de raízes de ervilhaca e, ainda, resiste por mais tempo à ação da chuva quando o solo é submetido à escarificação, diminuindo, desta forma, a erosão hídrica.
4. O solo cultivado ocasiona maior rugosidade superficial e esta resiste por mais tempo do que o solo sem cultivo e, com isso, a erosão hídrica é menor no solo cultivado.
5. As perdas de água seguem a mesma tendência que as perdas de solo, porém, com menor magnitude.

2.5 OBJETIVOS

1. Quantificar a massa de resíduos culturais e a cobertura do solo ocasionada pelos cultivos de azevém e ervilhaca, e a persistência destes resíduos ao longo do tempo.
2. Quantificar a rugosidade superficial e a sua persistência ao longo do tempo, decorrente de uma escarificação realizada no solo, em um tratamento contendo apenas raízes da cultura de azevém, em outro contendo somente raízes de ervilhaca e, em outro, solo sem cultivo.
3. Quantificar a erosão hídrica em condições de solo coberto pelos resíduos culturais de azevém, coberto pelos resíduos de ervilhaca, escarificado contendo apenas as raízes de azevém, escarificado contendo apenas as raízes de ervilhaca e em solo sem cultivo, descoberto e escarificado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.2 Localização da área experimental

A pesquisa realizada sob condição de chuva simulada foi desenvolvida no Centro de Ciências Agroveterinárias, campus da Universidade do Estado de Santa Catarina, localizado em Lages (SC), com coordenadas 27° 47' latitude Sul e 50° 18' longitude Oeste de Greenwich. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb (subtropical úmido, chuvoso e com verões frescos) e, segundo Bertol (1993), Lages possui uma precipitação média anual de 1.600 mm. O relevo da área experimental é suave-ondulado, a altitude aproximada do local do experimento é de 900 metros e sua declividade média é 0,134 m m⁻¹, com uma variação de 0,124 m m⁻¹ a 0,145 m m⁻¹.

3.1.1 Solo

O solo da área experimental é um CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico léptico (Inceptisol), com granulometria de 196 g kg⁻¹ de areia, 412 g kg⁻¹ de silte e 392 g kg⁻¹ de argila (classe textural franco-argilo-siltosa), conforme segue a caracterização da área experimental (tabela 1). A tolerância de perda de solo para um CAMBISSOLO HÚMICO é de 0,74 mm ano⁻¹ (BERTOL & ALMEIDA, 2000) e sua erodibilidade é de 0,0115 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (BERTOL et al., 2002).

Tabela 1 – Caracterização da área: teor de areia (AR), silte (SI) e argila (AG), densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (PT), macroporos (MA), microporos (MI) e estabilidade dos agregados em água (DMP) para as profundidades de 0,0 – 0,025; 0,025 – 0,05; 0,05 – 0,1 e 0,1 – 0,2 m (média das repetições).

Tratament o	Profundidade m	AR	SI	AG	C.O.	DS	DP	PT	MI	MA	DMP
		-----g kg ⁻¹ -----			%	--g dm ⁻³ --		-----%-----			mm
SRA	0 – 0,025	190	420	390	3,09	1,07	2,45	58	36	22	5,8
	0,025 – 0,05	186	418	396	2,72	1,08	2,45	55	35	20	5,6
	0,05 – 0,10	189	413	398	2,49	1,35	2,38	50	44	6	6,2
	0,1 – 0,2	172	421	407	2,62	1,31	2,41	48	44	4	6,0
SRE	0 – 0,025	238	414	348	3,08	1,07	2,38	56	31	25	5,9
	0,025 – 0,05	181	429	390	2,94	1,42	2,40	50	42	8	5,9
	0,05 – 0,10	174	412	414	2,83	1,39	2,31	51	43	8	6,2
	0,1 – 0,2	184	383	433	2,57	1,35	2,53	50	44	6	5,9
SEA	0 – 0,025	227	425	348	2,98	1,23	2,35	51	40	11	5,8
	0,025 – 0,05	211	415	374	2,81	1,33	2,37	50	41	9	5,9
	0,05 – 0,10	207	417	376	2,52	1,33	2,47	50	43	7	6,2
	0,1 – 0,2	202	411	387	2,54	1,31	2,46	51	46	5	6,2
SEE	0 – 0,025	206	425	369	2,67	1,21	2,50	52	36	16	6,0
	0,025 – 0,05	192	410	398	2,55	1,43	2,51	48	40	8	6,2
	0,05 – 0,10	198	436	366	2,50	1,35	2,47	48	40	8	6,1
	0,1 – 0,2	198	431	371	2,21	1,35	2,51	49	43	6	5,8
SDE	0 – 0,025	151	427	422	2,29	1,07	2,53	59	35	24	5,6
	0,025 – 0,05	207	376	417	2,37	1,05	2,49	59	34	25	5,4
	0,05 – 0,10	206	377	417	2,38	1,22	2,54	53	44	9	5,5
	0,1 – 0,2	207	373	420	2,49	1,19	2,59	54	46	8	5,3

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

3.1.2 Histórico da área experimental

Inicialmente a área experimental era um campo nativo no qual se passou a desenvolver trabalhos de erosão hídrica no ano de 2006. Naquela época, foi realizada a correção da acidez, incorporando o calcário com duas arações e duas gradagens, conforme descrito em BARBOSA et al. 2009. Na safra de inverno de 2006 onde fez-se o primeiro trabalho, a área foi cultivada com ervilhaca e aveia preta e, após isso, a área ficou vários anos sem ser utilizada em pesquisa de erosão, sendo sempre cultivada para sua manutenção. Na safra de verão 2009/2010 foi novamente usada para fins de pesquisa, sendo cultivado com milho, soja, feijão e com o consórcio entre as culturas do milho e do feijão. Já na safra de inverno de 2010, a área recebeu a cultura do trigo e, no cultivo que antecedeu a implantação deste experimento (safra de verão 2010/2011), foi cultivada com soja e milho,

semeados no sentido do declive e paralelo ao declive. Desde a safra de verão 2009/2010 as parcelas descobertas foram mantidas sem cultura, não havendo interferência alguma de sistemas radiculares ou resíduos culturais.

3.1.3 Unidade experimental

A unidade experimental, ou parcela, apresentava dimensões de 11 m de comprimento por 3,5 m de largura (IAPAR, 1975), sendo que a disposição do comprimento da parcela era no sentido do declive. A delimitação das laterais e da extremidade superior da parcela foi feita com chapas galvanizadas de 0,2 m de altura, cravadas 0,1 m no solo, com o intuito de evitar perda da enxurrada de dentro da área e/ou que houvesse entrada das áreas circunvizinhas (figura 1). Na extremidade inferior da parcela existia uma calha coletora, conectada a um tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 6 m de comprimento, o qual direcionava o fluxo do escoamento até uma trincheira onde se realizavam as medições e coletas da enxurrada.

O posicionamento da parcela, bem como o sentido da locação, já havia sido definido em projetos anteriores com a ajuda de um nível de precisão, demarcando curvas de nível de mesma cota nas extremidades da parcela, diminuindo assim a tendência de escoamentos laterais.

Figura 1 – Unidade experimental, com 38,5 m², delimitada nas extremidades laterais e na extremidade superior por chapas galvanizadas cravadas no solo, e a calha coletora da enxurrada na extremidade inferior.



Fonte: próprio autor.

3.1.4 Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos de forma aleatória na área experimental, considerando o teste de chuva como repetição, o que configurou um delineamento inteiramente casualizado. Cada tratamento possuía duas repetições de campo dentro do mesmo teste de chuva simulada. Foram realizadas quatro chuvas simuladas em cada tratamento, totalizando, dessa forma, oito repetições por tratamento. Foram testados cinco tratamentos com duas repetições de campo, totalizando dez parcelas experimentais (figura 2).

As parcelas descobertas não foram inclusas no sorteio, tendo sido sua aleatoriedade definidas em trabalhos de erosão anterior. Para executar este trabalho, fazia-se necessário que o solo nessas parcelas ficasse sem cultivo e sem influência de resíduos culturais por um período mínimo de dois anos, para que estes não influenciassem os resultados.

Figura 2 – Visão aérea da área experimental com a demonstração das parcelas experimentais com os respectivos tratamentos, SRA: solo cultivado com resíduo de azevém; SRE: solo cultivado com resíduos de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raízes de azevém; SEE: solo escarificado com raízes de ervilhaca e SDE: solo descoberto escarificado.



Fonte: Google Earth . 2012, modificado pelo autor.

3.2 SIMULADOR DE CHUVA E CHUVAS SIMULADAS

3.2.1 Simulador de chuva

As chuvas simuladas foram aplicadas com um aparelho simulador de chuvas de braços rotatórios tipo empuxo (figura 3), cuja movimentação dos braços é feita exclusivamente pela ação do empuxo da água oriunda de quatro bicos dispostos estrategicamente nas extremidades de quatro braços do simulador (BERTOL et al., 2012). O fluxo desses bicos era direcionado para baixo e para fora das parcelas em uma angulação de 30° , movimentando assim os braços e evitando que a água advinda dos bicos contribuísse para o escoamento da parcela.

Figura 3 – Aparelho simulador de chuvas com braços rotatórios do tipo empuxo atuando simultaneamente em duas parcelas experimentais.



Fonte: próprio autor.

O simulador de chuvas cobre simultaneamente duas parcelas experimentais espaçadas entre si 3,5 m. O aparelho é composto por 10 braços de 7,5 m de comprimento ligados a uma torre central a 2,4 m de altura, cobrindo uma área de aproximadamente 200 m².

Nos 10 braços do simulador encontram-se dispostos de forma helicoidal 30 bicos do tipo VEJEET 80/100 (MEYER & McCUNE, 1958). Para obter a intensidade planejada de 65 mm h⁻¹ se utilizou apenas 15 bicos abertos a uma pressão de 12,3 psi. O controle da pressão era feito em um manômetro localizado a

aproximadamente 6 metros da entrada de água do simulador de chuva. A regulação da pressão era realizada manualmente por meio de um registro localizado próximo ao manômetro.

O bombeamento da água era feito através de uma bomba a diesel estacionária de 14 CV. A água era oriunda de um açude localizado 50 m do experimento e era direcionada até o simulador de chuvas por uma linha de canos de engate rápido de 75 mm de diâmetro, montados no momento da chuva simulada.

3.2.2 Chuva simulada

Em cada tratamento foram aplicadas quatro chuvas simuladas com duração de 90 minutos e intensidade constante, planejada para 65 mm h^{-1} . O conjunto das chuvas aplicadas nos cinco tratamentos constitui-se de um teste. Assim, quatro testes foram aplicados em épocas diferentes, cada um com cinco chuvas. A primeira chuva foi aplicada imediatamente após o preparo das parcelas (dia 17 de dezembro de 2011). A segunda chuva simulada foi aplicada no dia 10 de janeiro de 2012, 27 dias após a primeira. A terceira chuva foi aplicada no dia 07 de fevereiro de 2012, intervalo de 28 dias após o teste anterior. Por fim, a quarta chuva foi aplicada no dia 10 de março de 2012, com um intervalo de 32 dias desde a terceira chuva. Assim, entre a primeira e a última chuva, teve um período de avaliação total de 84 dias.

3.3 TRATAMENTOS

O experimento contava com cinco tratamentos, com duas repetições de campo (figuras 4a, 4b, 4c, 4d e 4e). Comparou-se a influência de duas culturas, tanto pela cobertura dos seus resíduos mantida sobre o solo, quanto pela eficiência do seu sistema radicular em um solo escarificado, comparando-os ainda a um solo sem cultivo, ou seja, sem resíduo e sem raízes, também escarificado, conforme descritos a seguir:

Tratamento 1 (SRA): Solo cultivado com azevém (*Lolium multiflorum*), sem preparo e com rugosidade mínima. Manteve-se o resíduo da cultura sobre a superfície do solo, sem operação de preparo; a rugosidade mínima do solo era resultante de uma

gradagem leve realizada no ato da semeadura da cultura para incorporação das sementes (figura 4a).

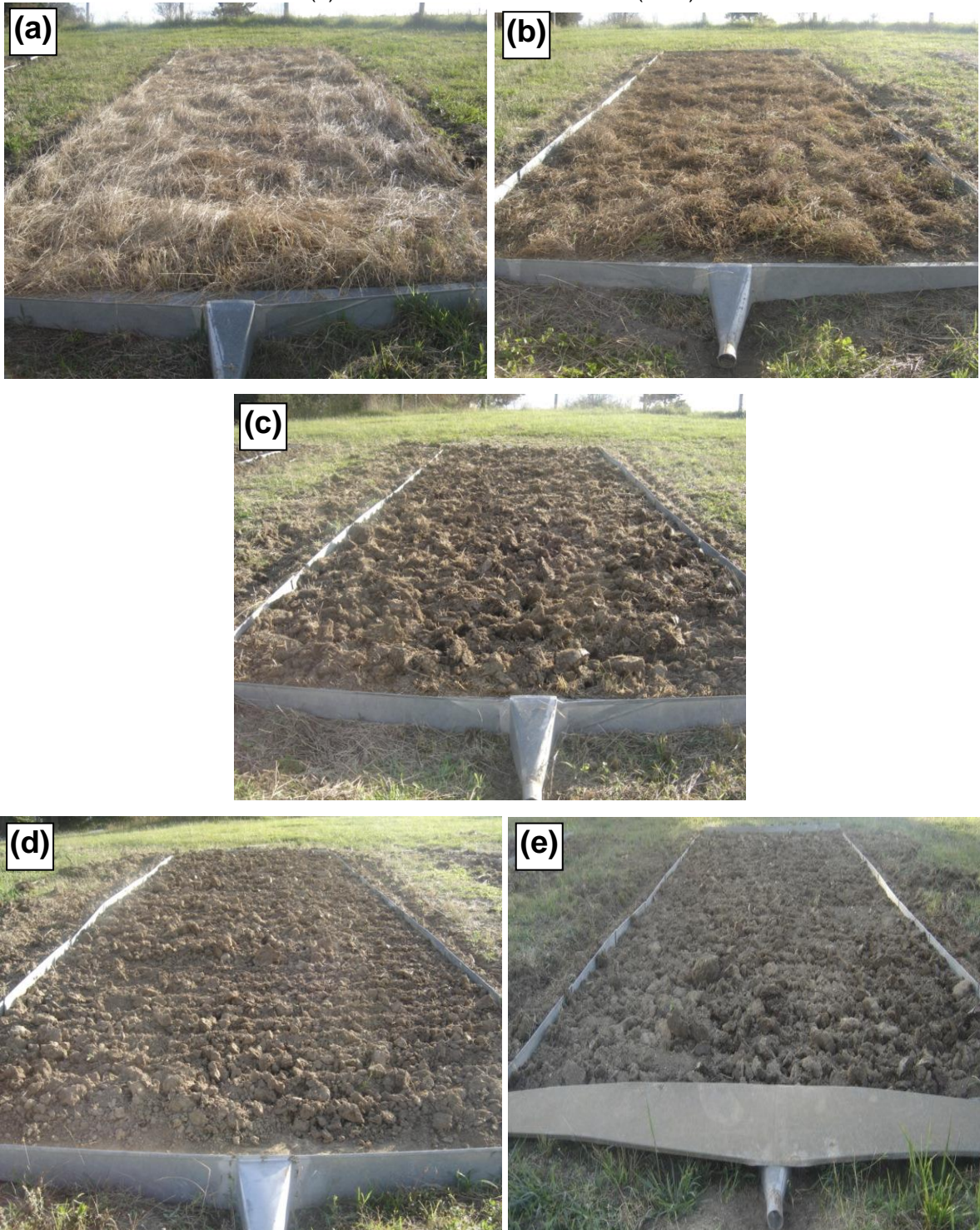
Tratamento 2 (SRE): Solo cultivado com ervilhaca (*Vicia sativa*), sem preparo e com rugosidade mínima. Manteve-se o resíduo da cultura sobre a superfície do solo, sem operação de preparo; a rugosidade mínima do solo era resultante de uma gradagem leve realizada no ato da semeadura da cultura para incorporação das sementes (figura 4b).

Tratamento 3 (SEA): Solo escarificado com rugosidade alta cultivado com azevém. Neste tratamento, retiraram-se os resíduos do azevém da superfície do solo, mantendo-se apenas a soqueira das plantas, efetuando-se uma operação de escarificação em contorno ao declive (figura 4c).

Tratamento 4 (SEE): Solo escarificado com rugosidade alta cultivado com ervilhaca. Neste tratamento, retiraram-se os resíduos da ervilhaca da superfície do solo, mantendo-se apenas a soqueira das plantas, efetuando-se uma operação de escarificação em contorno ao declive (figura 4d).

Tratamento 5 (SDE): Solo sem cultivo, descoberto e escarificado. Neste tratamento, manteve-se o solo sem influência de raízes ou resíduos culturais por mais de dois anos e efetuando-se apenas uma escarificação em contorno ao declive (figura 4e).

Figura 4 – Vista dos tratamentos estudados antes da realização da primeira chuva simulada com (a): solo cultivado com resíduo de azevém (SRA); (b): solo cultivado com resíduos de ervilhaca (SRE); (c): solo escarificado com raízes de azevém (SEA); (e): solo escarificado com raízes de ervilhaca e (d): solo descoberto escarificado (SDE).



Fonte: próprio autor.

A implantação dos tratamentos foi iniciada logo após o término de outro trabalho de erosão hídrica na área, em que se havia estudado as culturas do milho e da soja semeadas no sentido do declive e paralelo ao declive, bem como parcelas descobertas sem cultivo (MARIOTI, 2012). Após o término deste experimento que ocorreu no início de maio de 2011, retiraram-se os resíduos culturais das culturas anteriores e eliminaram-se as plantas espontâneas que ali haviam e, em seguida, foi feito o sorteio das parcelas.

Após o sorteio, foi realizada a semeadura das culturas de forma manual e a lança. Juntamente com a semeadura foi aplicada uma adubação de base com a formulação 7-30-15 (N-P₂O₅-K₂O), na dose de 300 kg ha⁻¹. Para a cultura do azevém, semeou-se 60 kg ha⁻¹ e, para a ervilhaca, 100 kg ha⁻¹ de sementes. Após a distribuição das sementes e do adubo, fez-se uma gradagem leve para incorporar as sementes e garantir melhor germinação. A gradagem foi feita no sentido transversal ao declive sendo realizada apenas uma vez por parcela.

Para a cultura do azevém aplicou-se uma adubação nitrogenada de cobertura 40 dias após a semeadura, na dose de 40 kg ha⁻¹ de N. Para a ervilhaca, retardou-se esta aplicação em quase um mês, pois a cultura apresentou um arranque mais lento não tendo assim capacidade de aproveitar ou assimilar o N solúvel aplicado.

A limpeza das parcelas experimentais ao longo do experimento consistiu basicamente de algumas capinas, arranques manuais e aplicação de herbicidas quando julgado necessário.

Após as culturas terem alcançado a plena floração, realizou-se a roçada das plantas. A cultura do azevém já estava seca no momento da preparação da área, já a cultura da ervilhaca teve que se realizar um corte com uma foice para induzir sua morte. Após cortadas às plantas, retiraram-se os resíduos das parcelas para os tratamentos sem resíduo.

A escarificação foi realizada transversalmente ao declive a uma profundidade aproximada de 0,15 m, com um escarificador que possuía 13 hastes distanciadas entre si 0,25 m. Após o início dos testes de chuva simulada o manejo das plantas daninhas procedeu-se com herbicidas e, quando necessário, manualmente ou com uma enxada.

A escarificação dos respectivos tratamentos foi realizada no dia 13 de dezembro de 2011 e o primeiro teste de chuva simulada foi realizado dia 17 de dezembro de 2011 decorrendo assim, quatro dias entre a escarificação e o teste.

Por este motivo, precisaram-se cobrir as parcelas até a realização da chuva simulada para protegê-las de chuvas naturais que poderiam interferir na rugosidade superficial dos tratamentos.

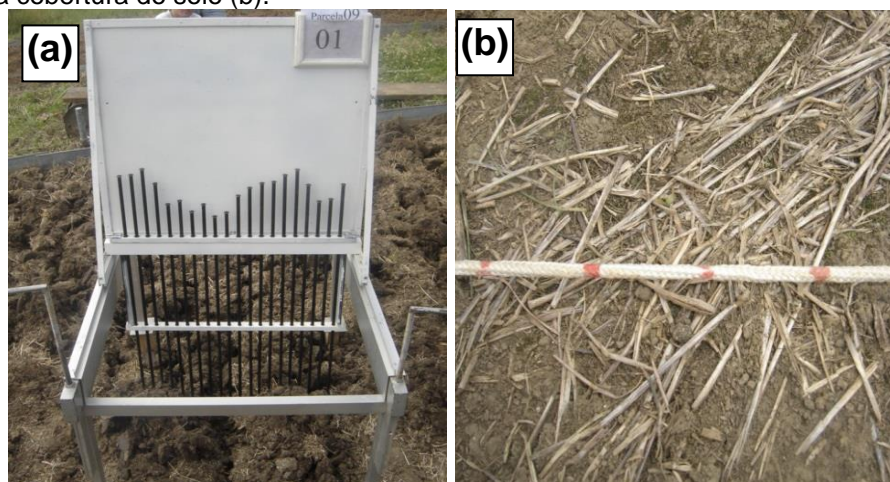
3.4 DETERMINAÇÕES REALIZADAS ANTES DE CADA CHUVA SIMULADA

3.4.1 Rugosidade superficial do solo

As leituras da rugosidade superficial do solo foram feitas imediatamente antes e após o preparo das parcelas, antes de cada chuva simulada e ao final da última chuva simulada. As leituras foram feitas em uma região intermediária da parcela e o rugosímetro foi posicionado sempre próximo da lateral, sobre estacas cravadas no solo que servia de suporte, para permitir que as leituras fossem feitas sempre à mesma altura em relação ao nível do terreno e no mesmo local.

Para as leituras do microrrelevo, foi utilizado um rugosímetro de varetas (figura 5a), conforme descrito por Correa et al. (2012), onde a visualização das mesmas era feita através de uma câmera fotográfica acoplada ao rugosímetro. Essa metodologia de obtenção se baseia no registro fotográfico de um conjunto de 20 varetas que estão em contato com a superfície do solo e que representa, em sua extremidade superior, o microrrelevo do terreno onde as referidas varetas estão em contato. Assim, fotos registram a altura dessas varetas em relação a uma linha de referencia situada abaixo no aparelho. Vinte fotos foram tiradas em diferentes posições, para uma maior representação da rugosidade. A interpretação da rugosidade é baseada na análise das imagens conforme proposto por Liñares e Castro (1998).

Figura 5 – Ilustração do rugosímetro de varetas (a) e da corda marcada utilizada para determinação da cobertura do solo (b).



Fonte: próprio autor.

3.4.2 Cobertura do solo e massa vegetal

Foi determinada a cobertura do solo antes de cada chuva simulada, por meio do método da corda marcada (figura 5b), descrita por Sloneker & Moldenhauer (1977). O método consiste na utilização de uma corda de 5 m de comprimento marcada a cada 0,05 m, totalizando assim, 100 pontos. Estendia-se a corda transversalmente sobre o solo e contabilizavam-se os pontos observados que coincidiam com uma massa de resíduo na superfície do solo. A porcentagem de resíduo corresponde ao número total de pontos que sobrepujam o resíduo na superfície. Efetuavam-se duas repetições por parcela e utilizava-se a média entre as duas observações.

Também foi determinada a massa vegetal, imediatamente antes de cada chuva simulada, nos tratamentos em que os resíduos foram mantidos sobre o solo, utilizando um retângulo de madeira de 0,6 x 0,4 m (0,24 m²), lançado na área da parcela em um ponto ao acaso, onde coletava-se o resíduo que era seco em estufa a 50° C e pesado.

3.4.3 Umidade inicial do solo

Imediatamente antes de iniciar as chuvas simuladas, coletavam-se amostras deformadas para determinação da umidade do solo, nas camadas de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m de profundidade. As amostras foram coletadas com um trado holandês,

optando-se por apenas um ponto por parcela, já que o alcance da dependência espacial desta variável é superior à área da parcela, conforme demonstrado por Libardi et al. (1986). O teor de água no solo foi calculado na base gravimétrica, conforme a fórmula a seguir:

$$Ug = [(mSU - mSS) mSS^{-1}] \times 100 \quad [1]$$

onde:

Ug = umidade gravimétrica (%);

mSU = massa de solo úmido (g) e;

mSS = massa de solo seco (g).

3.5 DETERMINAÇÕES REALIZADAS DURANTE A CHUVA SIMULADA

3.5.1 taxa de enxurrada

Para a determinação da taxa instantânea de enxurrada e consequente perda de solo e água, foi seguida à metodologia descrita por Cogo (1981). Depois de identificado o início do escoamento, coletava-se um volume da enxurrada com uma proveta graduada de 2 L e, com o auxílio de um cronômetro, marcava-se o tempo necessário para se coletar tal volume (figura 6), podendo-se assim determinar o escoamento, em $L s^{-1}$ ou em $m^3 s^{-1}$.

As coletas para determinação do volume de enxurrada eram realizadas a cada 5 minutos, coletando-se o maior volume possível com o objetivo de aumentar a precisão da coleta e, quando o fluxo era muito alto, utilizava-se um balde graduado com capacidade de 15 L, ao invés da proveta. Neste mesmo momento, coletava-se um pote de 0,75 L para a determinação da concentração de sedimentos e de água na enxurrada, para o posterior cálculo das perdas de solo e água.

Figura 6 – Demonstração da coleta para determinação da taxa de enxurrada.



Fonte: próprio autor.

3.5.2 Velocidade de escoamento

A velocidade de escoamento foi medida após 70 minutos de início da chuva simulada, quando a taxa de enxurrada era constante, conforme metodologia descrita por Cogo (1981) e Bertol (1995). Foram demarcados com estacas, os 6 m centrais das parcelas (2,5 m acima e 2,5 m abaixo das extremidades das parcelas) e, na extremidade superior dos 6 m, jogava-se o corante azul de metileno (2%) e se cronometrava o tempo necessário para que ele percorresse até a extremidade inferior dos 6 m.

3.5.3 Diâmetro médio dos sedimentos perdidos na enxurrada (índice D_{50})

A coleta das amostras em campo para determinação do diâmetro médio de sedimentos (D_{50}) transportados pela enxurrada fez-se conforme recomendações descritas por Cogo et al. (1983). As amostras de enxurrada foram coletadas aos 80 minutos de duração de cada chuva simulada, momento em que a vazão do escoamento superficial encontrava-se sob taxa constante. Nesse momento, a taxa de erosão não era influenciada pela variação da taxa de descarga que ocorria antes da mesma atingir taxa constante (BARBOSA et al., 2010), conforme verificado por Bertol et al. (1989).

Para quantificar o diâmetro dos sedimentos, utilizou-se um conjunto de peneiras com aberturas de malha de 4,75; 2; 1; e 0,25 mm. Nessa ordem, estas peneiras foram colocadas sobre um balde com capacidade para 2 L e, após, o conjunto todo era posicionado sob o fluxo até o completo preenchimento do referido recipiente. Os sedimentos que ficavam retidos nas peneiras eram transferidos para potes plásticos, levados a estufa a 50° C para secagem e após 24 horas, eram retirados e pesados para posteriormente irem para estufa e serem secos e pesados. O conteúdo do recipiente (balde) era levado para laboratório, onde lá, era passado pelo conjunto de peneiras com abertura de malhas de 0,53; 125 e 0,038 mm.

3.5.4 Volume e intensidade de chuva

O volume e a intensidade das chuvas simuladas aplicadas foram determinados por meio de 20 pluviômetros dispostos estrategicamente ao redor das parcelas, dentro da área de molhamento do simulador de chuva. A área de captação de cada pluviômetro era de 53,85 cm². As leituras dos pluviômetros foram feitas logo após o término dos 90 minutos de chuva por meio de uma proveta graduada com volume de 1 L.

3.6 PROCEDIMENTOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO

3.6.1 Recepção e processamento das amostras

No laboratório era efetuado o recebimento das amostras de campo. Primeiramente, pesavam-se as amostras para a determinação da umidade do solo e, após, os mesmos eram acondicionados em estufa de circulação forçada onde eram secas a uma temperatura de 105° C por 24 a 48 h, pesando-as posteriormente, obtendo-se assim, a massa de água. As amostras para a determinação da concentração de sedimentos e de água da enxurrada eram pesadas e, após, adicionava-se 3 a 4 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) para acelerar a floculação das partículas de solo dispersas, deixando em repouso por 72 h para ocorrer à decantação. Após este período, retirava-se o excesso de água das amostras com a ajuda de um sifão, levando-as para uma estufa onde eram secas a uma temperatura de 50° C por 72 horas, pesando-as após.

Para o índice D_{50} , o recipiente (balde) que vinha do campo era passado através de um novo conjunto de peneiras, com aberturas de malha de 0,125; 0,053; e 0,038 mm. Além disso, o conteúdo que passava pela última peneira era colocado sobre outro recipiente para ser contabilizado. Todas as amostras eram transferidas para estufa a 50° C por 24 horas e pesadas posteriormente. Assim, obtiveram-se os seguintes tamanhos de sedimentos: > 4,75; 4,75 - 2; 2 - 1; 1 - 0,25; 0,25 - 125; 0,125 - 0,053; 0,053 - 0,038 e \leq 0,038 mm.

3.7 PROCEDIMENTOS REALIZADOS NO ESCRITÓRIO

3.7.1 Cálculo da intensidade e quantidade de chuva aplicada

A intensidade (I) e o volume das chuvas aplicadas foram obtidos com base nos volumes dos 20 pluviômetros, lidos nas provetas após cada chuva simulada. O cálculo da intensidade da chuva foi feito pela seguinte fórmula:

$$I = 10 (V_m A^{-1} T^{-1}) \quad [2]$$

Onde:

I = intensidade aplicada (mm h^{-1});

V_m = volume médio lido nas provetas (ml);

A = área de captação do pluviômetro ($53,85 \text{ cm}^2$) e;

T = duração da chuva (h).

A quantidade total de chuva aplicada foi determinada multiplicando a intensidade (I) pela duração da chuva (D), obtida pela fórmula a seguir:

$$Q = I \times D \quad [3]$$

Onde:

Q = altura de chuva aplicada (mm);

I = intensidade da chuva aplicada (mm h^{-1}) e;

D = duração do teste de chuva (h).

3.7.2 Cálculo da erosividade das chuvas

Calculou-se a erosividade (EI) tanto das chuvas simuladas quanto das chuvas naturais que ocorreram entre cada teste de chuva simulada. A erosividade das

chuvas simuladas foi calculada pela equação proposta por Meyer (1958), conforme demonstrado a seguir:

$$EI = 0,2083 Q I \quad [4]$$

Onde:

EI = erosividade das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

Q = altura de chuva aplicada (mm) e;

I = intensidade da chuva aplicada (mm h^{-1}).

O cálculo da erosividade (EI_{30}) das chuvas naturais foi feito para chuvas individuais, conforme descrito por Wischmeier & Smith (1978). Cotou-se as chuvas em segmentos de mesma intensidade e calculou-se a erosividade baseada na equação desenvolvida por Foster et al (1981):

$$E = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad [5]$$

sendo:

E = energia cinética por mm de chuva ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e;

I = intensidade da chuva (mm h^{-1}).

3.7.3 Cálculo das perdas de solo e água

Por meio da ajuda do *software* Pderosão, desenvolvido por Elemar Antonino Cassol, calculou-se as taxas instantâneas de perdas de solo e água para intervalos de um minuto por interpolação linear dos valores de perdas quantificadas a campo a cada cinco minutos. A concentração de sedimentos existente na enxurrada foi obtida dividindo-se a massa de sedimentos pela massa de sedimentos + água. Assim, a taxa instantânea de perda de solo, expressa em kg h^{-1} , foi obtida multiplicando-se a taxa instantânea de enxurrada, expressa em $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ a cada minuto, pela concentração instantânea de sedimentos, expressa em kg m^{-3} . A quantidade total de solo perdida por erosão foi obtida pela integração das taxas instantâneas de perda de solo, extrapolando-se os resultados obtidos na área da parcela para um ha, expressando o resultado em t ha^{-1} .

3.7.3.1 Ajustes realizados para as perdas de solo e água

Para facilitar a comparação dos resultados obtidos se fez necessário a padronização dos mesmos. Os dados de perda total de água e perda total de solo foram ajustados para a intensidade de chuva planejada de 65 mm h^{-1} , conforme definido por Cogo (1981). A perda de água ajustada foi obtida seguindo a equação a seguir:

$$FCI = i_{planejada} \times i_{aplicada}^{-1} \quad [6]$$

Onde:

FCI = fator de correção da intensidade para a perda total de água

$i_{planejada}$ = intensidade de chuva planejada (65 mm h^{-1})

$i_{aplicada}$ = intensidade de chuva que foi medida durante os testes de chuva simulada (mm h^{-1}).

O ajuste das perdas de solo para a intensidade da chuva foi obtido elevando-se ao quadrado o resultado da divisão da intensidade da chuva planejada pela intensidade da chuva aplicada, conforme a equação a seguir:

$$FCI = (i_{planejada} \times i_{aplicada}^{-1})^2 \quad [7]$$

Onde:

FCI = Fator de correção da intensidade para a perda total de solo

$i_{planejada}$ = intensidade de chuva planejada (65 mm h^{-1})

$i_{aplicada}$ = intensidade de chuva real que foi medida durante os testes de chuva simulada (mm h^{-1}).

Os dados de perda de solo ainda receberam ajuste para a declividade do terreno, padronizando as perdas para a declividade média das parcelas experimentais que era de $0,134 \text{ m m}^{-1}$, seguindo o proposto por Wischmeier & Smith (1978). O ajuste para a declividade foi baseado na seguinte fórmula:

$$S = 0,065 + 4,56 \text{ sen } \theta + 65,41 (\text{sen } \theta)^2 \quad [8]$$

sendo:

S = fator declividade da EUPS e;

θ = ângulo de declive do terreno.

O fator de correção para a declividade (FCS) foi obtido pela divisão do fator S da parcela cujo dado se queria corrigir pelo fator S da declividade média das parcelas, conforme demonstrado na equação a seguir:

$$FCS = S_{parcela} \times S_{média}^{-1} \quad [9]$$

Onde:

FCS = fator de correção para a declividade;

$S_{parcela}$ = fator S da declividade da parcela e;

$S_{média}$ = fator S da declividade média de todas as parcelas (no caso $0,134 \text{ m m}^{-1}$).

Assim, ajustou-se a perda de solo multiplicando-se a perda de solo obtida na parcela pelos dois fatores de correção (FCI da eq. 6 e FCS da eq. 9), conforme a expressão que segue:

$$P_{solo \text{ ajustada}} = PS_{parcela} \times FCI \times FCS \quad [10]$$

Onde:

$P_{solo \text{ ajustada}}$ = perda de solo ajustada para a intensidade e declividade (t ha^{-1});

$PS_{parcela}$ = perda de solo obtida na parcela (t ha^{-1});

FCI = fator de correção da intensidade e;

FCS = fator de correção para a declividade.

3.7.4 Cálculo da rugosidade superficial do solo

As alturas das varetas das fotos que representavam o microrelevo foram obtidas por meio do uso do programa *Profile Meter Program* proposto por Wagner & Yiming Yu (1991) e Wagner (1992), o qual detecta as alturas das varetas em fotografia com formato digital. O índice de rugosidade foi obtido pelo método proposto por Kamphorst et al. (2000), onde não se transforma os dados para log, nem se elimina os valores extremos (fórmula 11). Para calcular a rugosidade superficial do solo se contou com a ajuda do programa computacional proposto por Miranda (2000). O índice de rugosidade pode ser obtido nas condições originais, linear e ao acaso e, para o devido experimento, calculou-se a rugosidade na condição ao acaso, onde é eliminando a influência da declividade do terreno e da tendência das marcas do preparo do solo, conforme demonstrado.

$$RR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n}} \quad [11]$$

Onde:

RR = índice de rugosidade ao acaso, (mm);

Z_i = altura de cada vareta, (mm);

Z = altura média das varetas, (mm) e;

n = número de valores de altura.

3.7.5 Cálculo do diâmetro médio dos sedimentos perdidos na enxurrada (índice D_{50})

Para o cálculo do índice D_{50} , utilizou-se um procedimento semelhante ao adotado por Gilley et al. (1987). O D_{50} dos sedimentos contidos na enxurrada é um valor numérico, em que 50% da massa dos sedimentos apresentam tamanho maior do que esse valor e os outros 50% da massa dos sedimentos apresentam tamanho menor.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento possuía no total, dez parcelas experimentais, e o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, considerando os testes de chuva como repetição. Cada tratamento possuía ainda, duas repetições de campo dentro do mesmo teste de chuva simulada. Foram realizadas quatro chuvas simuladas em cada tratamento, totalizando, dessa forma, oito repetições por tratamento.

A análise estatística foi realizada pela variância a 5% de probabilidade, nas médias dos tratamentos e dos contrastes ortogonais. Utilizou-se a análise por contrastes ortogonais, devido o interesse da comparação de grupos específicos. Aplicaram-se ao todo quatro contrastes, garantindo assim a ortogonalidade e a independência entre as comparações. Os contrastes aplicados estão demonstrados na tabela 2, onde os tratamentos com o mesmo sinal pertenciam a um mesmo grupo e, os sinais opostos, caracterizam os grupos que eram comparados entre si pelos contrastes. Já os tratamentos com o número zero não estavam inclusos no referido contraste.

Como os contrastes comparam dois grupos entre si, não houve a necessidade de se aplicar teste de comparação de médias, pois os mesmos já são conclusivos. A análise de variância e a análise por contrastes foram efetuados nos dados de perda de solo, perda de água, teor de água inicial nas camadas de 0 - 0,1 m e 0,1 - 0,2 m, rugosidade superficial do solo, cobertura do solo por resíduos

culturais, tempo de início de escoamento, velocidade de enxurrada e diâmetro médio dos sedimentos perdidos na enxurrada.

A massa vegetal sofreu apenas a análise da variância a 5% de probabilidade, pois apenas dois tratamentos possuíam massa vegetal. Para demonstrar a importância de algumas situações, realizou-se análises de regressão para as seguintes relações: EI_{30} acumulada *versus* rugosidade superficial do solo; massa de resíduos *versus* tempo; perda de solo *versus* velocidade de escoamento; velocidade de escoamento *versus* cobertura do solo; velocidade de escoamento *versus* tempo e; índice D_{50} *versus* velocidade de escoamento.

Tabela 2 – Esquema dos contrastes ortogonais aplicados nos dados obtidos.

	SRA	SRE	SEA	SEE	SDE
Contraste 1 ¹	+1	+1	+1	+1	-4
Contraste 2	+1	+1	-1	-1	0
Contraste 3	+1	-1	0	0	0
Contraste 4	0	0	-1	+1	0

¹ Para a rugosidade superficial (RR), o contraste 1 é a comparação entre SDE *versus* SEA + SEE. SRA: solo coberto por resíduos de azevém; SRE: solo coberto por resíduos de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística do teor de água do solo na camada de 0 a 0,1 m (U1) e 0,1 a 0,2 m (U2), rugosidade superficial do solo (RR), massa vegetal (MV), cobertura do solo por resíduos culturais (CS), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), diâmetro dos sedimentos perdidos (D_{50}), perdas de água (PA) e perdas de solo (PS) com os respectivos valores de grau de liberdade (GL) e F calculado (F calc.), se encontram na tabela 3.

Tabela 3 – Grau de liberdade (GL), coeficiente de variação (CV) F calculado (F calc.), da análise da variância (ANOVA) do teor de água do solo na camada de 0 – 0,1 m (U1) e 0,1 – 0,2 m (U2), rugosidade ao acaso (RR), massa vegetal (MV), cobertura do solo (CS), tempo de início do escoamento (TI), velocidade da enxurrada (VE), diâmetro médio dos sedimentos (D_{50}), perdas de água (PA) e perdas de solo (PS).

Contraste	ANOVA Fonte de variação	F calc.										
		GL	U1	U2	RR	MV	CS	TI	VE	D_{50}	PA	PS
	Tratamento	4	1,2 ^{NS}	4,6*	6,6*	1,04 ^{NS}	2110,0*	0,8 ^{NS}	8,9*	9,2*	3,1*	23,5*
1	SDE <i>versus</i> Demais ¹	1	0,4 ^{NS}	3,2*	12,3*	-	75,0*	0,9 ^{NS}	5,3*	22,9*	1,0 ^{NS}	6,0*
2	SRA+SRE <i>versus</i> SEA+SEE	1	1,4 ^{NS}	1,0 ^{NS}	-	-	49,8*	0,2 ^{NS}	2,4 ^{NS}	0,9 ^{NS}	3,6*	4,2*
3	SRA <i>versus</i> SRE	1	0,5 ^{NS}	0,3 ^{NS}	-	-	1,8 ^{NS}	1,2 ^{NS}	0,4 ^{NS}	5,5*	0,9 ^{NS}	4,5*
4	SEA <i>versus</i> SEE	1	1,6 ^{NS}	2,7*	0,6 ^{NS}	-	15,9*	1,1 ^{NS}	1,2 ^{NS}	7,5*	0,2 ^{NS}	4,5*
	Cv (%)	-	22,9	13,2	10,2	32,3	4,2	52,3	31,3	55,7	20,0	12,8

¹ Para a rugosidade superficial (RR), o contraste 1 é a comparação entre SDE *versus* SEA + SEE. ² Normalizaram-se os dados na escala logarítmica quando necessário. Para D_{50} normalização feita através da raiz quadrada. SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor. * significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). ^{NS} Não significativo a 5% de probabilidade ($p > 0,05$). Fonte: próprio autor.

4.1 TEOR DE ÁGUA DO SOLO ANTECEDENTE ÀS CHUVAS SIMULADAS

Os teores de água no solo nas camadas de 0 - 0,10 e 0,10 - 0,20 m estão apresentados na tabela 4. Para o teor de água do solo na camada de 0 - 0,1 m, não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados e contrastes empregados, concordando com MARIOTI (2012). Na camada de 0,1 - 0,2 m, houve diferença estatística entre os tratamentos e contrastes (tabela 3).

Tabela 4 – Teor de água nas camas de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m, determinada imediatamente antes da aplicação das chuvas simuladas, nos diferentes tratamentos, em um CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico léptico, Lages – SC (média das repetições).

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- % -----				
	0 - 0,1 m				
SRA	32	25	34	24	29
SRE	30	18	34	27	27
SEA	32	23	31	23	27
SEE	20	20	28	22	23
SDE	33	24	32	21	27
Média	29	22	32	23	
	0,1 – 0,2 m				
SRA	31	29	33	29	30
SRE	28	27	35	31	30
SEA	35	27	31	33	31
SEE	22	25	27	30	26
SDE	39	30	36	33	34
Média	31	27	33	31	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Na camada de 0 - 0,1 m, os tratamentos apresentaram uma amplitude do teor de água entre 23 e 29%, com o tratamento solo coberto com resíduo de azevém (SRA) com o maior teor de água (29%) e o tratamento solo escarificado com raízes de ervilhaca (SEE), o menor (23%).

Apesar de não haver diferença estatística ao se analisar o contraste 2 (solo coberto com resíduos de azevém (SRA) + solo coberto com resíduos de ervilhaca (SRE) *versus* solo escarificado com raízes de azevém (SEA) + solo escarificado com raízes de ervilhaca (SEE)), os tratamentos com resíduos sobre a superfície do solo

possuíram maior teor de água do que os tratamentos em que o solo foi escarificado após a retirada dos resíduos das respectivas culturas da superfície do solo. Isto, possivelmente, se deve à diminuição da temperatura do solo e da ação do vento, pois os resíduos culturais cobrem o solo protegendo-o do vento e dos raios solares, concordando com Bertol et al. (2004), onde os resíduos culturais diminuíram a temperatura do solo em comparação ao solo descoberto.

De uma forma geral, os tratamentos em que o solo foi escarificado (SEA, SEE e SDE), contiveram menos água na camada de 0 - 0,1 m, tendo esta característica sido mascarada pelo fato das chuvas simuladas terem sido realizadas logo após a ocorrência de chuvas naturais (tabela 5).

Tabela 5 – Intensidade das chuvas simuladas aplicadas (I), quantidade de chuva aplicada em cada tratamento (Q) e quantidade de chuva natural até o período, bem como a erosividade (EI_{30}) das chuvas simuladas e das chuvas naturais do período avaliado.

Teste de chuva	Tratamento	I	Q ¹	EI_{30}
	-	mm h ⁻¹	Mm	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹
Teste 1	SRA	63	95	1.244
	SRE	60	91	1.147
	SEA	58	88	1.069
	SEE	61	92	1.166
	SDE	65	97	1.315
	Natural	-	36	55
Teste 2	SRA	73	110	1.672
	SRE	73	109	1.647
	SEA	74	111	1.697
	SEE	74	111	1.721
	SDE	71	106	1.570
	Natural	-	203	784
Teste 3	SRA	63	94	1.241
	SRE	61	91	1.151
	SEA	60	91	1.144
	SEE	63	94	1.235
	SDE	58	87	1.042
	Natural	-	119	210
Teste 4	SRA	63	94	1.239
	SRE	61	91	1.160
	SEA	57	86	1.022
	SEE	59	89	1.102
	SDE	63	943	1.233
	Natural	-	76	98

¹ Considerou-se apenas as chuvas erosivas, com intensidade acima de 10 mm, ou 6 mm em um período inferior à 15 minutos, conforme citado em HUDSON (1995). SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Comparando os testes de chuva simulada, o segundo teste teve o menor teor de água na camada de 0 - 0,1 m (22%), devido à baixa precipitação natural ocorrida próximo ao teste de chuva simulada (BARBOSA, 2011), mesmo este período tendo sido o mais chuvoso (tabela 5). No terceiro teste de chuva simulada, o solo apresentou o maior teor de água dentre todos (32%), provavelmente, devido à precipitação de 12 mm, ocorrida no dia anterior ao do teste.

Na camada de 0,1 a- 0,2 m, o SEE possuiu o menor teor de água (26%), enquanto o SDE (solo descoberto escarificado) o maior valor (34%). Com exceção do tratamento SEE que apresentou o menor teor de água no solo dentre todos, os tratamentos em que o solo foi escarificado apresentaram os maiores teores de água na camada de 0,1 - 0,2 m, sendo, este comportamento, inverso ao apresentado na camada de 0 - 0,1 m. Explica-se, provavelmente, pelo fato de que a escarificação aumentou a porosidade superficial do solo, diminuindo assim sua condutividade térmica e a sua capilaridade, perdendo rapidamente a umidade na camada mais superficial e conservando a água na camada mais profunda. Além disso, a retenção de água, nas depressões originadas pela escarificação, manteve por mais tempo a umidade elevada nesta camada, principalmente após a ocorrência de chuvas naturais próximas da aplicação das chuvas simuladas, como pode ser visto nos testes de chuva 1 e 3.

Ouve diferença estatística (tabela 3) entre o tratamento SDE, quando comparado aos demais tratamentos (contraste 1, SDE *versus* demais), sendo o teor de água do SDE superior ao dos demais tratamentos, discordando de Zoldan Junior (2006). A localização das parcelas deste tratamento em relação às demais pode ter contribuído para este fenômeno. Outro fator que pode ter contribuído, é o fato de estas parcelas terem sido revolvidas com mais frequência e mais recentemente do que os demais. Porém, o fato do solo estar permanentemente descoberto neste tratamento, deveria ocasionar rápida evaporação da água em relação aos demais.

Além do contraste 1, o contraste 4 (SEA *versus* SEE) teve diferença significativa entre os tratamentos. A umidade média de 31% do tratamento SEA foi estatisticamente superior aos 26% de umidade do SEE. Esta diferença é consequência da maior cobertura do solo no tratamento SEA (BERTOL et al., 2004).

4.2 RUGOSIDADE AO ACASO DA SUPERFÍCIE DO SOLO

A rugosidade ao acaso da superfície do solo (RR) diferiu estatisticamente entre os tratamentos estudados (tabela 3). Na tabela 6 estão dispostos os dados de RR antes da escarificação, antes de cada chuva simulada e após a última chuva, apenas dos tratamentos que sofreram escarificação (solo escarificado com raiz de azevém (SEA), solo escarificado com raiz de ervilhaca (SEE) e solo descoberto (SDE)). Também se encontram na tabela 6 os valores médios de RR de cada tratamento e o valor médio de cada teste de chuva.

Tabela 6 – Índice de rugosidade ao acaso da superfície do solo (RR) antes da escarificação (AP), imediatamente antes de cada chuva simulada, após a última chuva simulada (PT4) e a média dos tratamentos e de cada teste (média das repetições).

Tratamento	AP	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	PT4	Média
	----- mm -----						
SEA	4,68	20,5	15,5	14,0	12,4	11,7	14,8
SEE	4,56	17,4	14,7	11,9	12,5	10,2	13,3
SDE	2,92	14,6	9,6	8,3	8,4	7,1	9,6
Média	4,05	17,5	13,3	11,4	11,1	9,6	

SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

O valor médio do RR de 4,05 mm antes do preparo, concorda com o encontrado por Bramorski et al. (2012) e Panachuki et al. (2010). Após a escarificação, a média de 17,5 mm foi semelhante à encontrada por Zoldan Junior et al. (2008) e por Correa et al. (2012) em um solo escarificado.

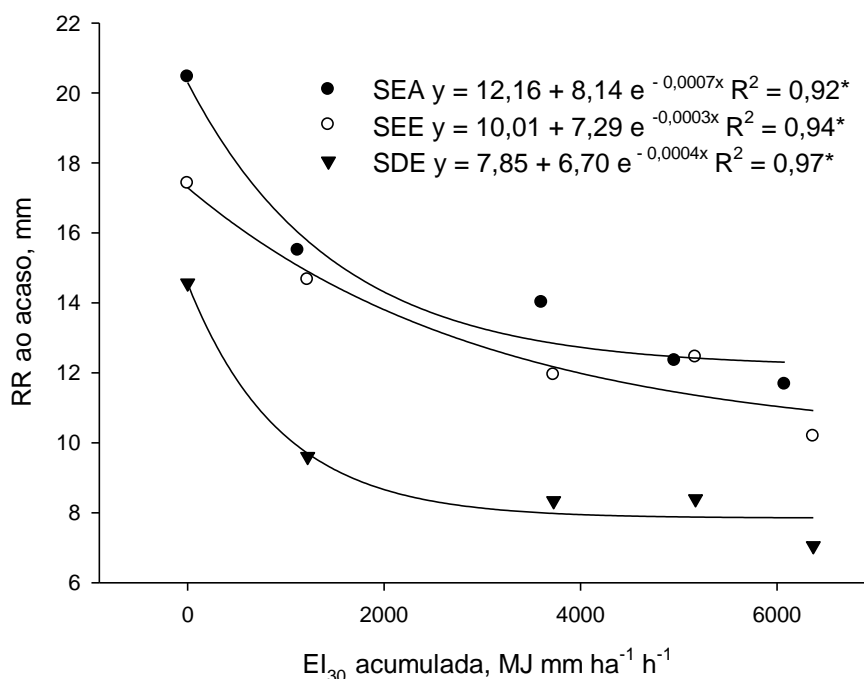
Após a escarificação, o maior valor de RR encontrado foi no tratamento solo escarificado com raízes de azevém (SEA com RR de 20,5 mm), seguido pelo tratamento solo escarificado com raízes de ervilhaca (SEE) (17,4 mm), e pelo tratamento solo descoberto escarificado (SDE com RR de 14,6 mm), concordando com Bertol et al. (2008). No tratamento solo descoberto e sem cultivo, a superfície apresentava-se mais destorroada que nos demais tratamentos, devido à desagregação pelo impacto direto das gotas de chuva, pelo constante revolvimento do solo e pela baixa resistência dos seus agregados como consequência do decréscimo do teor de matéria orgânica (tabela 1).

Na média dos três tratamentos, o maior decréscimo do RR foi após a aplicação da primeira chuva simulada, em relação ao decréscimo após as chuvas

posteriores. Após a primeira chuva, a diminuição do índice RR foi de 54% (porcentagem de diminuição em relação à diminuição total do RR), enquanto que após a segunda, terceira e quarta chuva simulada, as respectivas diminuições foram de 24%, 4% e 19%. Individualmente, esse comportamento foi verdadeiro para os tratamentos SEA e SDE, com diminuições após a primeira chuva do RR em 56% e 66%, respectivamente.

Na figura 7, observa-se a relação entre a erosividade acumulada com o decaimento do RR, podendo-se observar, ainda, o maior decréscimo após a primeira chuva, principalmente nos tratamentos SEA e SDE, concordando com Eltz & Norton (1997) e Zoldan Junior et al. (2008).

Figura 7 – Relação entre erosividade acumulada (EI_{30}) com a rugosidade ao acaso (RR) nos tratamentos.



Fonte: próprio autor

Entretanto, no SEE houve uma diminuição igual da rugosidade após o primeiro e o segundo teste de chuva, diminuindo 38% em ambos. Explica-se esta igualdade, devido à ocorrência de um grande número de chuvas naturais com alta erosividade no período após a segunda chuva simulada (EI_{30} de 784 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ de chuva natural), imprimindo no SEE, que possuía uma resistência baixa, um decréscimo muito elevado. Os resultados dos tratamentos SEA e SDE concordam

com os resultados encontrados por Cogo (1981), Eltz & Norton (1997), Bertol et al. (2006), Castro et al. (2006) e Zoldan Júnior et al. (2008). Segundo Römker & Wang (1986), a rápida diminuição da rugosidade após a primeira chuva, é devido à diminuição da porosidade pelo selamento superficial, pela quebra e desagregação de torrões após o umedecimento e, em menor grau, pela deposição de sedimentos nas microdepressões e assentamento do solo.

O contraste 1 diferiu estatisticamente (SDE *versus* SEA + SEE), com o SDE tendo a menor média em comparação a média dos demais (9,6 mm do SDE contra 14,05 mm do SEA + SEE) . O menor RR do SDE deve-se, principalmente, à menor resistência e persistência da rugosidade superficial deste tratamento em relação ao demais. A presença de cultivo nos tratamentos SEA e SEE, proporcionou maior resistência do solo à desagregação, devido ao aumento do teor de matéria orgânica e da atividade biológica e pela ação das raízes das culturas (BERTOL et al., 2006; LUCIANO et al., 2009; BARBOSA et al., 2010).

Bertol et al. (2006) e Bertol et al. (2008), comentam que solos mantidos constantemente descobertos, ou solos periodicamente revolvidos, tendem a diminuir o seu teor de matéria orgânica e da atividade biológica do que solos com cultivo, condicionando ao solo uma menor resistência dos agregados à ação da água. Da mesma forma, Bertol et al. (2007) verificaram que a rugosidade diminuiu mais em um solo descoberto do que no solo coberto com resíduos, pois, o resíduo cultural teve efeito positivo na preservação da rugosidade superficial do solo ao longo das chuvas.

Não houve diferença estatística no contraste 4 (SEA *versus* SEE), demonstrando não haver influência entre culturas para a rugosidade. Porém, apesar da não diferença estatística, observa-se na tabela 6 que o SEA apresentou uma maior resistência à desagregação ao longo do tempo, devido à presença das raízes do azevém que proporcionaram maior agregação ao solo e, mesmo sendo uma diferença pequena, esta pode contribuir no armazenamento de água e de sedimentos. Em um estudo onde correlacionou a persistência da estabilidade dos agregados (DMP e DMG) com a persistência da rugosidade superficial do solo, Bertol et al. (2006) obtiveram maior correlação no solo com a cultura da aveia do que com a cultura do milho, demonstrando, dessa forma, a maior eficiência da aveia em agregar o solo.

4.3 MASSA DE RESÍDUOS CULTURAIS E COBERTURA DO SOLO

A cobertura do solo por resíduos culturais diferiu estatisticamente entre os tratamentos, entretanto, a massa de resíduos não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (tabela 3), cujos dados estão apresentados na tabela 7.

Para a massa de resíduos, ambos os tratamentos, solo coberto com resíduos de azevém (SRA) e de ervilhaca (SRE), tiveram alta massa vegetal após o manejo das culturas, com 4.761 kg ha⁻¹ e 4.371 kg ha⁻¹ para SRA e SRE, respectivamente. A alta massa do SRE deve-se, provavelmente, às condições climáticas favoráveis ocorridas no período experimental e às boas condições do solo.

Tabela 7 – Massa de resíduos culturais e cobertura do solo nos tratamentos, antes de cada chuva simulada e a média de cada tratamento (média das repetições).

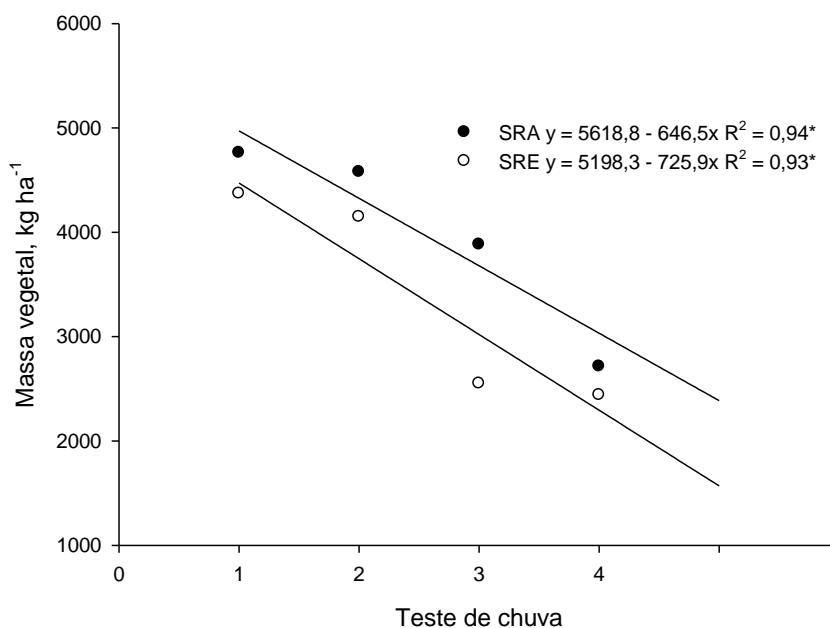
Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
SRA	4.761	4.579	3.882	2.714	3.984
SRE	4.371	4.147	2.550	2.441	3.377
	Cobertura do solo (%)				
SRA	100	98	97	99	99
SRE	90	91	86	87	89
SEA	25	17	16	16	19
SEE	7	7	7	6	7
SDE	0	0	0	0	0

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor. Médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente.

Após a primeira chuva simulada, a diminuição da massa vegetal de ambas as culturas foi baixa, decaindo respectivamente 9% e 12% para SRA e SRE, em relação à massa total, provavelmente, devido ao baixo contato dos resíduos com a superfície do solo. Já após a segunda chuva simulada, o decaimento foi maior para o SRE (83%) em relação ao SRA (34%), efeito este, devido à menor relação C/N da ervilhaca em relação ao azevém (GILMOUR et al., 1998). Após a terceira chuva, a diminuição da massa vegetal foi de 57% e 6% para SRA e SRE, respectivamente. O elevado decaimento do resíduo no tratamento SRA deve-se ao maior contato do mesmo com o solo, enquanto, a baixa diminuição no SRE, possivelmente, foi devido ao alto decaimento deste resíduo ocorrido anteriormente, onde a parte mais decomponível havia sido já decomposta. O comportamento das massas de resíduos

ao longo do tempo pode ser observado na figura 8, onde pode se observar o maior decaimento da massa de resíduos da cultura da ervilhaca após a segunda chuva, em comparação ao azevém.

Figura 8 – Massa de resíduos de azevém e de ervilhaca nos quatro testes de chuva simulada e após o último teste de chuva.



Fonte: próprio autor.

O resíduo de azevém (SRA) proporcionou maior cobertura do solo, com média de 10% a mais que a ervilhaca (SRA) (contraste 3). Provavelmente, devido a maior quantidade de massa vegetal do SRA e ao maior número de peças do azevém em relação à ervilhaca, para a mesma massa vegetal (LOPES et al., 1987b).

Em geral, os resíduos culturais das gramíneas têm maior capacidade de resistir à decomposição do que os das leguminosas, devido maior relação C/N daquelas. Entretanto, apesar da diferença de cobertura do solo encontrada entre os resíduos, nota-se que no período estudado (84 dias), não houve diminuição significativa. A eficácia dos resíduos destas culturas em cobrir o solo deve-se, provavelmente, a alta quantidade de massa vegetal disposta sobre a superfície do solo e, ainda, pelo fato do resíduo ter sido mantido sobre a superfície, o que dificultou o contato com o solo e, conseqüentemente, com os microrganismos decompositores.

Dentre os tratamentos com cultivo em que o solo foi escarificado (solo escarificado com raiz de azevém (SEA), solo escarificado com raiz de ervilhaca (SEE) e solo descoberto escarificado (SDE)), a maior cobertura foi encontrada no SEA (19%), em comparação ao SEE (7%) (contraste 4). A maior cobertura do SEA, explica-se pela presença de soqueiras do azevém mantidas após a eliminação da massa da parte aérea.

Encontrou-se uma maior diminuição da cobertura do solo no tratamento SEA, em relação à encontrada no SEE, principalmente, após a primeira chuva simulada (81% e 0% para SRA e SRE, respectivamente). A diminuição deve-se à maior porcentagem de cobertura no SRA em relação ao SEE e ao alto contado do resíduo com o solo devido à escarificação (MELLO et al., 2003). Ainda, no SEE, além do baixo valor de cobertura do solo, tais resíduos eram compostos por soqueiras da cultura de milho remanescentes do trabalho desenvolvido por MARIOTI (2012), com alta resistência à decomposição.

4.4 TEMPO DE INÍCIO DO ESCOAMENTO

Não houve diferença estatística do tempo de início do escoamento entre os tratamentos e para os contrastes estudados (tabela 3). Os valores do tempo de início do escoamento em cada teste de chuva simulada, bem como os valores médios dos tratamentos e dos testes de chuva simulada, estão demonstrados na tabela 8.

Tabela 8 – Tempo de início do escoamento nos quatro testes de chuva simulada e os valores médios de cada tratamento e de cada teste (média das repetições).

Tratamentos	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- minuto -----				
SRA	16	22	14	24	19
SRE	18	17	4	16	14
SEA	17	24	21	15	19
SEE	22	25	3	8	14
SDE	33	23	13	10	19
Média	21	22	11	14	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Dentre os tratamentos na média dos testes, o solo com resíduo de azevém (SRA) e solo descoberto escarificado (SDE) obteve o maior tempo de início de

escoamento (19 minutos) e, os tratamentos solo com resíduo de ervilhaca (SRE) e solo escarificado com raiz de ervilhaca (SEE) o menor (14 minutos). O maior tempo de início de escoamento do SRA e SDE deve-se, provavelmente, à maior macroporosidade destes tratamentos na camada de 0 – 0,05 m, apesar da não diferença estatística.

A ausência de significância estatística entre os tratamentos é explicada, pelo fato de que as condições de superfície de ambos os tratamentos contribuíram com igual armazenamento de água e conseqüente retardamento da enxurrada. Os resíduos sobre a superfície do solo (SRA e SRE) tiveram a habilidade de armazenar água e aumentar a infiltração de água no solo (MANNERING & MEYER, 1963). O mesmo pode ser atribuído à superfície do solo nos tratamentos com alta rugosidade (SEA, SEE e SDE), onde a água permaneceu retida nas microdepressões, retardando o início da enxurrada e aumentando a infiltração de água no solo, conforme observado também por BERTOL et al. (2008).

Outro ponto a ser considerado a respeito da não diferença estatística, é o fato de que o início da enxurrada sofreu influencia direta do teor de água do solo antecedente a chuva (tabela 5). O teor de água do solo, quando em níveis elevados, sobrepõe o efeito das condições de superfície do solo, na erosão hídrica.

Comparando a média das culturas, independentemente do manejo, o azevém proporcionou maior tempo de início da enxurrada em comparação à ervilhaca (19 e 14 minutos, respectivamente), apesar da não diferença estatística entre os contrastes. Além disso, o SRA manteve este comportamento até o último teste de chuva simulada, provavelmente, devido à sua cobertura do solo elevada até o final (tabela 7).

O SDE apresentou comportamento inverso ao encontrado no SRA, pois, houve diminuição acentuada no tempo de início do escoamento do primeiro até o último teste (de 33 para 4 minutos). Explica-se esta diminuição, pela redução da rugosidade superficial e aumento do selamento da superfície do solo, pois o solo encontrava-se completamente descoberto. A mesma tendência foi observada nos tratamentos SEA, SEE e SRE, porém, com menor clareza.

4.5 VELOCIDADE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A velocidade do escoamento superficial diferiu estatisticamente entre os tratamentos e entre os contrastes estudados (tabela 3), cujos valores, dos tratamentos em cada teste de chuva, bem como a média de cada tratamento e de cada teste de chuva, estão apresentados na tabela 9.

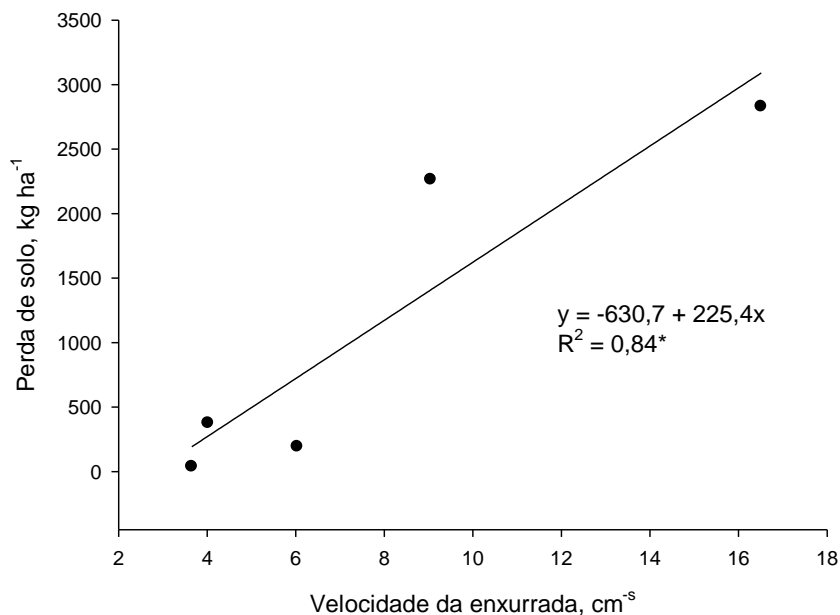
Tabela 9 – Velocidade de escoamento superficial dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a média de cada tratamento e de cada teste (média das repetições).

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- cm s ⁻¹ -----				
SRA	2,7	2,6	4,8	4,6	3,7
SRE	2,7	3,1	4,7	5,6	4,0
SEA	2,9	3,6	7,4	10,3	6,0
SEE	2,9	5,6	10,5	17,4	9,1
SDE	8,6	17,5	16,2	23,9	16,5
Média	3,9	6,5	8,7	12,3	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Dentre os tratamentos, a menor velocidade média de escoamento foi encontrada no solo coberto com resíduos de azevém (SRA com velocidade de 3,7 cm s⁻¹), e a maior foi do tratamento solo descoberto escarificado (SDE com velocidade de 16,5 cm s⁻¹). A redução da velocidade da enxurrada é importante, já que ela exerce grande influencia na energia final do escoamento (Bertol et al., 2010), conforme se pode visualizar na figura 9, onde o aumento da velocidade de escoamento correlacionou-se linearmente e positivamente com a perda de solo (R² 0,84).

Figura 9 – Relação entre a velocidade do escoamento com a perda de solo.



Fonte: próprio autor.

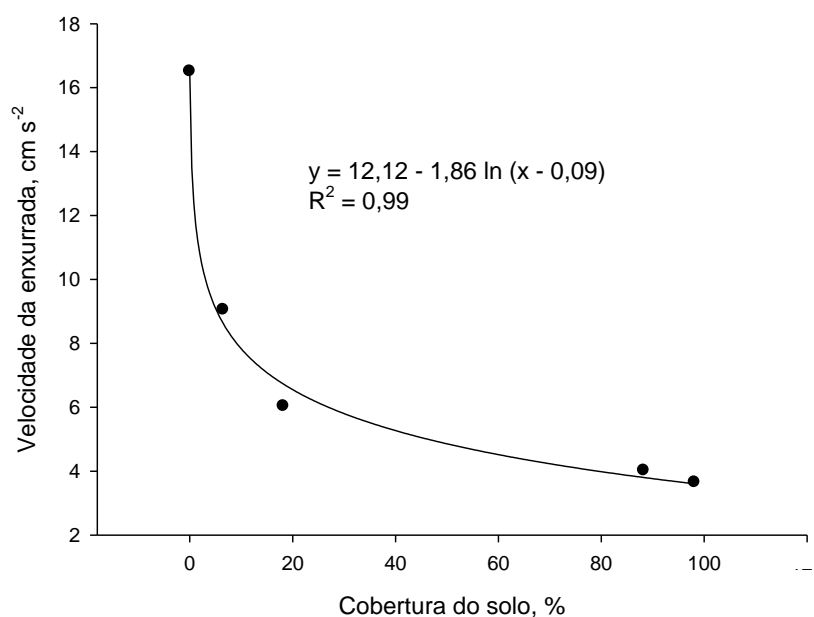
Ao se analisar o contraste 1 (SDE *versus* demais), observa-se diferença estatística entre os grupos comparados. A velocidade da enxurrada no tratamento SDE foi 2,9 vezes maior do que a média dos tratamentos com culturas, demonstrando a importância das culturas na diminuição da velocidade do escoamento, independente do manejo de superfície. Esta afirmação está de acordo com o encontrado por Bertol et al. (2006), onde uma superfície de solo com alta rugosidade e cobertura diminuiu a velocidade de escoamento em 45% comparada à superfície descoberta de um solo sem cultivo.

A menor eficiência do tratamento SDE no controle da velocidade da enxurrada se deve a baixa resistência do solo à desagregação, que culminou em uma perda acentuada da rugosidade superficial, concordando com o exposto por Bertol et al, (2006). Além disso, pela superfície do solo estar exposta a ação direta das gotas de chuva, sem nenhuma proteção, houve o selamento da superfície, condicionando a formação de sulcos que, por sua vez, permitiram o livre escoamento da enxurrada.

De uma forma geral, os resíduos sobre a superfície do solo, tanto o de azevém quanto o de ervilhaca, foram mais eficazes do que a rugosidade provocada pela ação da escarificação, no que diz respeito à diminuição da velocidade de escoamento. Isto se deve à formação de barreiras mais eficientes pelos resíduos do

que pela rugosidade, ao livre escoamento da enxurrada, aumentando a tortuosidade do fluxo (LOPES et al., 1987b; MANNERING & MEYER, 1962). Tal relação pode ser observada na figura 10, com uma relação logarítmica negativa entre a cobertura do solo e a velocidade da enxurrada (R^2 0,99), pois, quanto maior foi a cobertura do solo, menor foi a velocidade da enxurrada.

Figura 10 – Relação entre a cobertura do solo por resíduos culturais com a velocidade da enxurrada.



Fonte: próprio autor.

Porém, ao se analisar o contraste 2 (SRA + SRE *versus* SEA + SEE), não se observou diferença significativa entre os dois grupos, discordando dos resultados encontrados por Bertol et al. (1989), onde a cobertura do solo de 60% por resíduos de trigo, diminuiu em 62% a velocidade da enxurrada. Esta não diferença estatística deve-se, provavelmente, as velocidades de escoamento baixas nos dois primeiros testes para ambos os tratamentos. Até o segundo teste de chuva, a tortuosidade criada pela escarificação foi eficiente em retardar o escoamento da água sobre o solo, concordando com Bertol et al. (2006) e Zoldan Junior et al. (2008). A partir do momento em que houve diminuição da rugosidade, os tratamentos com resíduos sobre o solo diminuíram a velocidade da enxurrada com maior eficiência do que os tratamentos em que o solo foi escarificado.

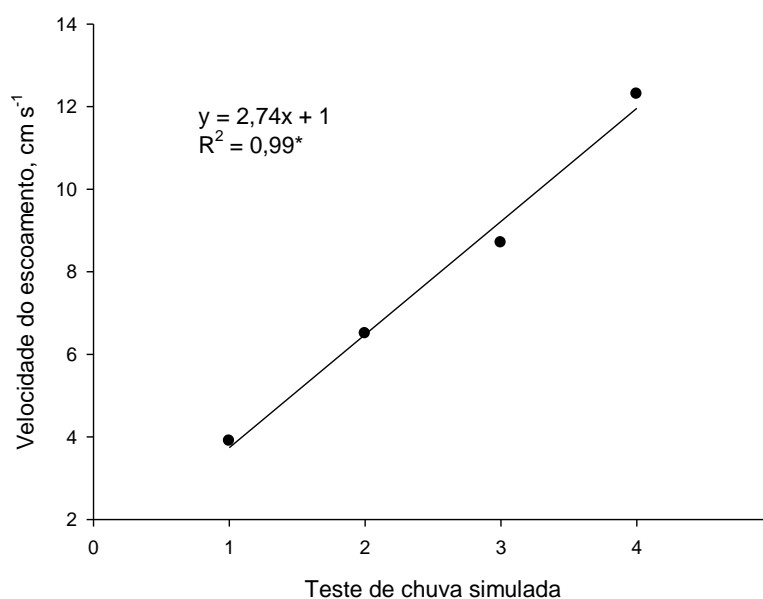
Desta forma, apesar da não diferença estatística, os resíduos sobre a superfície do solo foram mais eficientes na diminuição da velocidade do escoamento

do que a rugosidade, já que o aumento da tortuosidade gerado pela escarificação, apesar de ser obstáculo ao livre escoamento, é de caráter efêmero.

Os contrastes 3 e 4 (SRA *versus* SRE e SEA *versus* SEE) não apresentaram significância, não havendo diferença da velocidade de escoamento entre as culturas, no mesmo manejo do solo, discordando de Lopes et al. (1987b) que encontraram diferença entre as culturas do milho, trigo e soja na diminuição da velocidade de escoamento. Os autores justificaram tal diferença pelo número de peças dos resíduos para uma mesma quantidade de resíduos.

Houve uma relação positiva entre a velocidade de escoamento e o teste de chuva simulada ($R^2 = 0,99$), aumentando a velocidade com o passar do tempo (figura 11), devido a diminuição da rugosidade superficial do solo e da cobertura por resíduos culturais, concordando com o encontrado por Bertol et al. (2006).

Figura 11 – Relação entre o teste de chuva com a velocidade da enxurrada.



Fonte: próprio autor.

4.6 DIÂMETRO MÉDIO DOS SEDIMENTOS PERDIDOS NA ENXURRADA (ÍNDICE D_{50})

O índice D_{50} diferiu estatisticamente entre os tratamentos e entre os contrastes estudados (tabela 3), cujos resultados dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a média dos tratamentos e dos testes de chuva, estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Diâmetro médio dos sedimentos transportados pela enxurrada dos tratamentos nos diferentes testes de chuva simulada, bem como a média dos tratamentos e dos testes (média das repetições).

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- mm -----				
SRA	0,045	0,049	0,070	0,053	0,054
SRE	0,118	0,547	0,612	0,706	0,496
SEA	0,030	0,035	0,035	0,792	0,223
SEE	0,337	0,279	1,445	1,030	0,773
SDE	0,766	0,840	1,988	2,493	1,522
Média	0,259	0,350	0,830	1,015	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

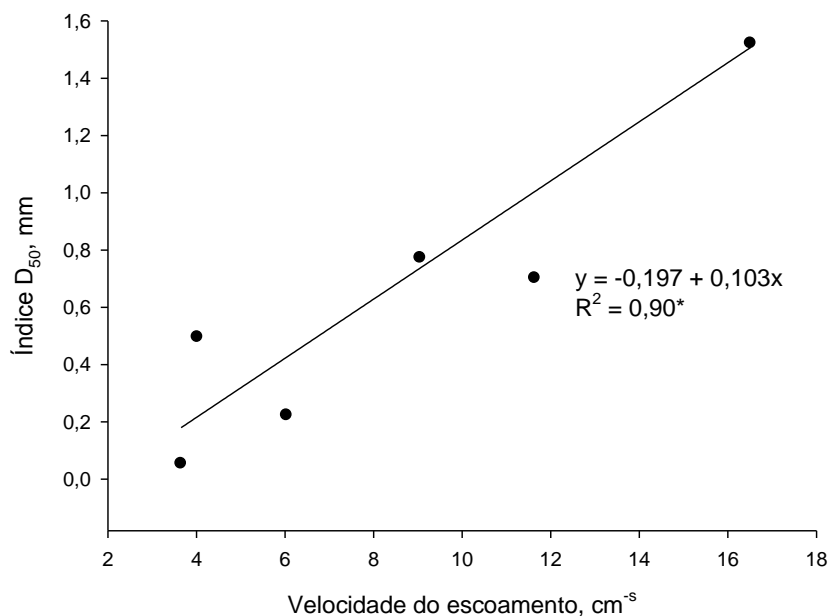
Dentre os tratamentos, o solo coberto com resíduos de azevém (SRA) apresentou o menor índice D_{50} (0,054 mm) e o solo descoberto escarificado (SDE) o maior (1,522 mm), com uma diferença de quase 30 vezes entre eles. O contraste 1 (SDE *versus* demais) apresentou diferença estatística para o índice D_{50} entre o tratamento SDE (1,522 mm) e a média dos tratamentos com cultivo do solo (0,387 mm). Assim, as culturas influenciaram o D_{50} dos sedimentos erodidos.

A diminuição no D_{50} ocasionada nos tratamentos com culturas está relacionada à cobertura do solo em alguns casos, mas, principalmente, ao aumento da resistência do solo a desagregação que é consequência do aumento do teor de matéria orgânica e da atividade biológica no solo. Também, as raízes das culturas que proporcionam maior estabilidade aos agregados em água influenciam o D_{50} , diminuindo o desprendimento de partículas ou micro agregados, conforme destacado por Bertol et al. (2006), Luciano et al. (2009) e Barbosa et al. (2010). Em um estudo distinto deste, Bertol et al. (2007) encontrou D_{50} duas vezes maior em um solo descoberto e com baixa rugosidade, comparado a um solo com alta rugosidade e com resíduos culturais.

Conjuntamente ao efeito da agregação do solo pelas plantas, o selamento da superfície do solo no tratamento sem cultivo permitiu a formação de sulcos mais rapidamente neste tratamento em relação aos demais, acarretando maior velocidade de escoamento (tabela 9) que, por sua vez, aumentou a capacidade da enxurrada em desagregar e transportar partículas maiores, conforme observado também por Bertol et al. (1997) e Bertol et al. (2010). A influência da velocidade da enxurrada no

D_{50} pode ser observada na figura 12 que mostra a correlação positiva entre as duas variáveis (R^2 de 0,90).

Figura 12 – Relação entre a velocidade do escoamento com o índice D_{50} .



Fonte: próprio autor.

Ao se analisar o contraste 2 (solo coberto com resíduos de azevém (SRA) + solo coberto com resíduos de ervilhaca (SRE) *versus* solo escarificado com raízes de azevém (SEA) + solo escarificado com raízes de (SEE)), não houve diferença estatística entre os grupos, deduzindo-se, desta forma, que os resíduos culturais não diminuiriam o D_{50} dos sedimentos em relação aos tratamentos em que o solo cultivado foi submetido à escarificação, apesar da visível diferença de valores médios (0,275 mm para os tratamentos com resíduos e 0,498 mm para os escarificados), discordando do encontrado por Bertol et al. (1997), Lopes et al. (1987a) e Bertol et al. (1989). Estes autores demonstraram que os resíduos culturais têm a habilidade de filtrar os sedimentos de maior diâmetro e diminuir a velocidade e o volume da enxurrada.

Entretanto, a ausência de diferença estatística no contraste 2, explica-se ao se analisar os contrastes 3 e 4 (contrastos SRA *versus* SRE e SEA *versus* SEE, respectivamente), onde houve diferença estatística em ambos os contrastes, deduzindo que a não diferença entre os tratamentos está relacionada à diferença entre as culturas, pois, independentemente do manejo, o azevém proporcionou

menores valores de D_{50} do que a ervilhaca. O azevém diminuiu em 78% o D_{50} em relação à ervilhaca, quando agrupados ambos os manejos. Separadamente, o SRA diminuiu quase 90% o D_{50} em relação ao SRE e, o SEA, diminuiu 71% o D_{50} em relação ao SEE.

Lopes et al. (1987a), não encontraram diferença no D_{50} ao comparar os resíduos de trigo, milho e a soja em diferentes manejos. Entretanto, em um estudo com as culturas de aveia e ervilhaca, Barbosa et al. (2010) encontraram menores valores de índice D_{50} no solo cultivado com aveia comparado à ervilhaca, independente do sentido da semeadura. Tais autores atribuíram o menor D_{50} da cultura da aveia à sua potencialização de agregação do solo na camada superficial, concordando com Dechen et al. (1981) que afirmam que as gramíneas têm maior capacidade de agregar o solo do que as leguminosas.

Com o passar do tempo, houve aumento do D_{50} nos testes, partindo de 0,259 mm no primeiro teste para 1,05 mm na quarta chuva simulada. Tal comportamento está de acordo com o exposto por Bertol et al. (1997) e Bertol et al. (2010), justificado pela diminuição da cobertura e rugosidade superficial do solo, facilitando o aumento da velocidade da enxurrada e a consequente desagregação do solo. De maneira oposta, Barbosa et al. (2010), encontraram comportamento decrescente do D_{50} com o passar do tempo, sendo explicado pelo aumento da proteção do solo pelas raízes e copa das plantas, devido ao crescimento das culturas.

4.7 PERDAS DE ÁGUA

Houve diferença significativa nas perdas de água entre os tratamentos e entre os contrastes estudados (tabela 3), cujos valores dos tratamentos em cada teste de chuva simulada e as perdas médias de cada tratamento e de cada teste de chuva simulada estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11 – Perdas de água dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda média dos tratamentos e dos testes (média das repetições).

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- % da chuva -----				
SRA	57	48	56	41	51
SRE	56	55	62	51	56
SEA	73	65	65	54	64
SEE	68	61	67	58	64
SDE	52	53	55	57	54
Média	61	56	61	52	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Dentre os tratamentos, o solo coberto com raízes de azevém (SRA) obteve a menor perda de água (51%), enquanto os tratamentos solo escarificado com raízes de azevém (SEA) e solo escarificado com raízes de ervilhaca (SEE), as maiores perdas (64%). A não diferença estatística da maioria dos contrastes estudados foi influenciada pela umidade do solo antecedente à chuva simulada e à limitada capacidade natural de infiltração de água do solo, que, quando submetido a chuvas intensas e de longa duração, a taxa de enxurrada tende a se igualar em todos os tratamentos, inibindo os efeitos dos mesmos na enxurrada (SCHICK et al., 2000; KOHNKE, 1968).

Com exceção do solo descoberto escarificado (SDE), as maiores perdas de água foram encontradas nos tratamentos em que o solo foi escarificado, em relação aos solos cobertos com resíduos culturais.

A baixa perda de água do SDE em relação aos tratamentos escarificados, provavelmente, não é devido ao manejo em si, e sim, devido às condições intrínsecas do solo nas parcelas que compunham o referido tratamento (ver item 3.1.1). Esta diferença é originada, provavelmente, pelo fato de que este tratamento foi revolvimento (uma aração e duas gradagens) mais recentemente que os demais tratamentos, contribuindo para uma alta macroporosidade, conforme demonstrado na caracterização da área (tabela 1). Entretanto, Bertol et al. (2008) encontraram perdas inferiores de água em um solo sem cultivo e descoberto e escarificado em comparação a outros tratamentos em que o solo foi cultivado e escarificado.

Houve um comportamento de perdas crescente com o passar dos testes para o SDE. Esse aumento se deve a diminuição da rugosidade superficial do solo e,

principalmente, ao selamento superficial do solo, que, por não apresentar proteção, ocorreu rapidamente (BERTOL et al., 1989; DULEY, 1939).

Dentre os contrastes, apenas o contraste 2 (SRA + SRE *versus* SEA + SEE) diferiu estatisticamente. A manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo proporcionou menor perda de água (53,5 %), quando comparada aos tratamentos em que o solo foi escarificado com as raízes das referidas culturas (64%). Estes dados concordam com os encontrados por Schick et al. (2000) e Amaral (2006), onde a semeadura direta perdeu menos água do que o solo revolvido mecanicamente e contrastam com os resultados encontrados por Mello et al. (2003) e Cogo (1981), onde a escarificação proporcionou menor perda de água do que os tratamentos com resíduos sobre a superfície.

Os contrastes 3 e 4 (SRA *versus* SRE e SEA *versus* SEE) não diferiram estatisticamente para as perdas de água, por influência das culturas, concordando com Laflen & Colvin (1981), os quais afirmam que os distintos preparos de solo influenciam mais as perdas de água do que os diferentes resíduos culturais.

4.8 PERDAS DE SOLO

Houve diferença estatística das perdas de solo entre os tratamentos e entre os contrastes estudados (tabela 3), em que todos os contrastes empregados apresentaram diferença significativa. Os valores de perdas de solo dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, juntamente com a perda total por tratamento e a perda média dos testes de chuva, estão dispostos na tabela 12.

Tabela 12 – Perdas de solo dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda total dos tratamentos e a perda média dos testes (média das repetições).

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Total
	----- kg ha ⁻¹ -----				
SRA	50	33	39	28	150
SRE	197	221	275	808	1.500
SEA	231	85	327	128	770
SEE	391	288	2.113	6.260	9.250
SDE	1.030	484	3.002	6.800	11.316
Média	380	222	1.151	2.805	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Dentre os tratamentos, o solo coberto com resíduos de azevém (SRA), apresentou a menor perda de solo, e o solo descoberto escarificado (SDE) a maior perda, com uma diferença de aproximadamente 99 %.

No contraste 1 (SDE *versus* demais), a perda de solo no SDE foi maior que nos tratamentos com cultivo. Segundo Bertol et al. (2008), a presença de culturas tem efeito positivo na conservação do solo, devido a sua influencia na agregação, resistência e proteção do solo, pois, mesmo quando incorporados, os resíduos contribuem para a sua agregação. Já na ausência de cultivo, há uma diminuição gradativa da matéria orgânica e atividade biológica do solo. Juntamente, as raízes das culturas ocasionam maior estabilidade dos agregados, tornando o solo menos susceptível a desagregação e conseqüentemente, ao transporte. Em um solo descoberto e com baixa resistência, as gotas de chuva impactam o solo descoberto e rapidamente diminuem a sua rugosidade superficial, selando a superfície, diminuindo a infiltração de água no solo e formando sulcos com enxurradas com alto volume e velocidade (BERTOL et al., 1989).

No contraste 2, onde há a comparação dos manejos (solo coberto com resíduos de azevém (SRA) + solo coberto com resíduos de ervilhaca (SRE) *versus* solo com raízes de azevém escarificado (SEA) + solo com raízes de ervilhaca escarificado (SEE)), houve uma maior eficiência dos resíduos culturais nas perdas de solo, em relação aos tratamentos em que o solo foi cultivado e escarificado. A cobertura por resíduos culturais protegeu o solo da desagregação pela energia de impacto direto das gotas de chuva e diminui a velocidade da enxurrada, aumentando o armazenamento de água na superfície e diminuindo sua capacidade de

desagregar e transportar partículas, conforme Lopes et al. (1987b) e Bertol et al. (1989).

Entretanto, ao se analisar individualmente, o SRE apresentou perda total de solo superior ao SEA (1.500 e 770 kg ha⁻¹, respectivamente). Tal diferença deve-se, provavelmente a alta resistência do solo no tratamento SEA, devido ao conjunto de fatores como rugosidade alta (tabela 6), elevada resistência à desagregação proporcionada pela cultura do azevém e cobertura do solo (tabela 7).

Tanto o contraste 3 (SRA *versus* SRE) quanto o 4 (SEA *versus* SEE), apresentaram diferença estatística. Independentemente do manejo adotado, a cultura do azevém foi mais eficaz na redução da erosão hídrica em comparação a ervilhaca. No contraste 3, a diferença é justificada pela maior cobertura e, principalmente, capacidade dos resíduos em filtrar os sedimentos maiores (tabela 10) e de diminuir a velocidade da enxurrada (tabela 9), concordando com os resultados obtidos por Lopes et al. (1987a), onde os resíduos de trigo, milho e soja apresentaram capacidade distinta em reduzir a erosão hídrica. Tais autores afirmam que o resíduo de trigo foi o mais eficiente, pois com uma mesma porcentagem de cobertura do solo, o resíduo de trigo apresentava maior número de peças do que os outros tipos de resíduos, mantendo maior contato com a superfície do solo, filtrando os sedimentos e diminuindo mais a velocidade do escoamento.

No contraste 4, a perda de solo no tratamento SEA foi inferior a do SEE, provavelmente, pela maior agregação e resistência do solo ocasionada pelas raízes do azevém que reduziram o D₅₀ dos sedimentos transportados, concordando com Barbosa et al. (2010). Tais autores atribuíram o menor índice D₅₀ dos sedimentos oriundos dos tratamentos com a cultura da aveia, devido ao fato de que esta cultura potencializa a agregação do solo na camada superficial, concordando com Dechen et al. (1981) que afirmam que as gramíneas têm maior capacidade do que as leguminosas de agregar o solo na camada mais superficial.

5 CONCLUSÕES

1. A massa de resíduos não diferiu estatisticamente entre as culturas, entretanto, o resíduo de ervilhaca cobriu em média 10% menos o solo que os resíduos de azevém.
2. As perdas de solo do tratamento coberto por resíduos de ervilhaca foram 10 vezes maiores que as perdas encontradas no tratamento coberto por resíduos de azevém.
3. Na média dos manejos de superfície, as perdas de solo dos tratamentos cobertos por resíduos culturais foram 83% menores que as perdas dos tratamentos escarificados contendo apenas as raízes das mesmas culturas.
4. A perda de solo foi 91% menor na cultura do azevém do que na ervilhaca, independentemente do manejo do solo.
5. A rugosidade superficial do solo não diferiu estatisticamente entre os tratamentos cultivados e escarificados, porém, as perdas de solo no tratamento escarificado com raízes de ervilhaca foram 92% maiores que no tratamento escarificado com raízes de azevém.
6. A rugosidade superficial do solo foi 32% menor no solo descoberto escarificado em comparação aos tratamentos cultivados e, com isso, as perdas de solo neste tratamento foram 56% maiores em relação aos demais.
7. As perdas de água pela enxurrada seguiram a mesma tendência das perdas de solo, porém, com menor magnitude do que estas, com exceção do solo descoberto escarificado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E. & LARSON, W. E. **Total porosity and roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. [s. l.]: ARS: USDA, 22p. (Cons. Res. Report, 7), 1966.
- ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E. & HOLT, R. F. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 31: 550-556, 1967.
- AMARAL, A. J. **Fator cobertura e manejo da equação universal de perda de solo para soja e trigo em um cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de manejo**. Lages, SC, UDESC, 2006, 84 p. (Dissertação de mestrado).
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I. ; LUCIANO, R. V.; GONZÁLEZ, A. P. & VÁZQUEZ, E. V. Teor de nitrogênio solúvel na água de erosão hídrica em cultura de aveia e ervilhaca em três formas de semeadura. **R. Bras. Ci. Solo**, 33: 439-446, 2009.
- BARBOSA, F. T. **Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta**. Lages, UDESC, 2011. 100p. (tese de doutorado).
- BARBOSA, F.T.; BERTOL, I.; LUCIANO, R.V. & PAZ-FERREIRO, J. Proporção e tamanho de sedimentos e teor de carbono orgânico na enxurrada e no solo para dois cultivos e duas formas de semeadura. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1.701-1.710, 2010.
- 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**, 11: 187-192, 1987.
- BERTOL, I.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:373-379, 1989.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesq. Agropec. Bras.**, 28:515-521, 1993.
- BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado).

BERTOL, I.; COGO, N. P. & MIQUELLUTI, D. J. Sedimentos transportados pela enxurrada relacionados à cobertura e rugosidade superficial do solo e taxa de descarga. **Pesq. Agropec. Gaúcha**, 3:2. 199-206, 1997.

BERTOL, I. & ALMEIDA, J. A. . Tolerância de Perda de Solo Por Erosão Para Os Principais Solos do Estado de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: . 3, 657-668, 2000.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. & AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **R. Bras. Ci. Solo**, 26: 465-471, 2002.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. & ZOLDAN JR., 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**, 28:155-163, 2004.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. ii – perdas de nutrientes e carbono orgânico. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:1045-1054, 2004.

BERTOL, I.; AMARAL, A. J.; VÁZQUEZ, E. V.; GONZÁLEZ, A. P.; 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**, 30: 543-553, 2006.

BERTOL, I.; PAZ GONZÁLEZ, A. & VIDAL VÁZQUEZ, E. Rugosidade superficial do solo sob diferentes doses de resíduo de milho submetido à chuva simulada. **Pesq. Agropec. Bras.**, 42:103-110, 2007.

BERTOL, I.; ZOLDAN JUNIOR, W. A.; FABIAN, E. L.; ZAVASCHI, E. PEGORARO, R. & PAZ GONZÁLES, A. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um nitossolo háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, 32: 747-757, 2008.

BERTOL, I.; VÁZQUEZ, E. V. ; GONZÁLEZ, A. P.; COGO, N. P. ; LUCIANO, R. V. & FABIAN, E. L. . Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um solo Nitossolo Háplico. **R. Bras. Ci. Solo**, 34: 245-252, 2010.

BERTOL, I.; BERTOL, C. & BARBOSA, F.T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **R. Bras. Ci. Solo**, 36: 6. 1905-1910, 2012.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BRAMORSKI, I.; MARIA, I. C.; SILVA, R. L. & CRESTANA, S. Relations between soil surface roughness, tortuosity, tillage treatments, rainfall intensity and soil and water losses from a red yellow latosol. **R. Bras. Ci. Solo**, 36: 1291-1297, 2012.

BRANDÃO, E. D. & SILVA, I. F. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, 42:7. 1193 - 1199, 2012.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R. & AMEMIYA, M. A. Field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, 27: 697-700, 1963.

BURWELL, R. E. & LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage induced random roughness and pored space. **Soil sci. Amer. Proc.** 33: 449-452, 1969.

CAMARGO FILHO, S. T. **Recuperação de áreas degradadas no município de Paty do Alferes pela introdução de gramíneas forrageiras e leguminosas arbóreas**. Seropédica: UFRRJ, 1999, 105p. (Dissertação de Mestrado).

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 14: 99-105, 1990.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. & VOLK, L.B.S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **R. Bras. Ci. Solo**, 30: 339-352, 2006.

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

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Effect of crop residue, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:1005-1008, 1983.

CORREA, I. M. C.; BERTOL, I.; RAMOS, J. C. & TAKIZAWA, M.M. Rugosidade da superfície de um cambissolo húmico relacionada com o preparo e compactação do solo sob chuva natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 36: 567-576, 2012.

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

DECHEN, S. L. F.; LOMBARDI NETO, F. & CASTRO, O.M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo. **R. Bras. Ci. Solo**, Piracicaba, 5: 133-137, 1981.

DEXTER, A. R. Effect of rainfall on the surface micro-relief soil. **J. of Terramech.** 14: .1 11-22. 1977.

DULEY, F.L. Surface factors effecting the rate of intake of water by soil. **Soil sci. Amer. Proc.**. 4:60-64, 1939.

ELLISON, W. D. Soil erosion studies. **Agricultural Engineering**, 28:145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444, 1947.

ELTZ, F. L. F. & NORTON, L. D. Surface roughness changes as affected by rainfall erosivity, tillage, and canopy cover. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:1746-1755, 1997.

FOSTER, G.R. & MEYER, L.D. Soil erosion and sedimentation by water - an overview. Proceedings of the National Symposium on Soil Erosion and Sedimentation by Water (Chicago), **ASAE**, St. Joseph. p. 1-13. 1977.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G. & MOLDENHAUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Soil Water Conserv.**, 36: 355-359, 1981.

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.**, 25: 940-947, 1982a.

FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B. & MOLDENHAUER, W.C. Critical slope lengths for unanchored cornstalk and wheat straw residue. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 25: 935-947, 1982b.

GILLEY, J.E.; FINKNER, S.C. & VARVEL, G.E. Size distribution of sediment as affected by surface residue and slope length. **Trans. Am. Soc. Agron. Eng.**, 30: 1419-1424, 1987.

GILMOUR, J.T.; MAUROMOUSTAKOS, A.; GALE, P.M. & NORMAN, R.J. Kinetics of crop residue decomposition: variability among crops and years. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 62:750-755, 1998.

HUDSON, N. W. **Soil Conservation**. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 324p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Recomendações gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação de solo no Brasil. In: 1º Encontro nacional sobre pesquisa de erosão com simuladores de chuva, 7-11 de junho de 1975, Londrina. **Anais...** Londrina, 1975. p. 107-120.

KAMPHORST, E. C.; JETTEN, V.; GUÉRIF, J.; PITKANEN, J.; IVERSEN, N. V.; DOUGLAS J. T. & GONZÁLES, A. P. Predicting depression storage from soil roughness. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:1.749-1.758, 2000.

LAFLEN, J.M. & COLVIN, T.S. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping. **Trans. Am. Sci. Agric. Eng.**, 24: 605-609, 1981.

LIBARDI P. L.; PREVEDELLO C. L.; PAULETTO E. A., & MARAES S. O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. **R. Bras. Ci. Solo**, 10: 2. 85 – 90, 1986.

LIÑARES, L. M. & CASTRO, T. M. M. Medida de la rugosidad del suelo en terrenos de cultivo. En: ORTIZ, G. A.; FRANCH, S. F. Eds. **V Reunión Nacional de Geomorfología**. Barcelona, p. 731-734, 1998.

LOPES, P. R. C.; CASSOL, E. A. & COGO, N. P. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade de enxurrada e na distribuição de tamanho de sedimentos transportados. **R. bras. Ci. Solo**, 11: 193-197, 1987a.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **R. bras. Ci. Solo**, 11: 71-75, 1987b.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I. ; BARBOSA, F. T. ; VÁZQUEZ, E. V. ; FABIAN, E. L.. Perdas de água e solo por erosão hídrica em duas direções de semeadura de aveia e ervilhaca. **R. bras. Ci. Solo**, 33: 669-676, 2009.

MANNERING, J. V. & MEYER, L. D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 27: 84-86, 1962.

MARIOTI, J. **Erosão hídrica em cambissolo húmico cultivado com milho e soja sem preparo do solo, nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo**. Lages, UDESC, 2012. 74p. (dissertação de mestrado).

MELLO, E.L.; BERTOL, I.; ZAPAROLLI, 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**, 27: 901-909, 2003.

MEYER, L.D. **An investigation of methods for simulating rainfall in standard runoff plots and a study of the drop size, velocity, and cinetic energy of selected spray nozzles**. USDAARS- SWCRD-ESWMB and Purdue University West Lafayette, 1958. IN.43p. (Special Report nº 81).

MEYER, L.D. & McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. **Agricultural Engineers**, St. Joseph, 39:644-648. 1958.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R. & NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Trans. Am. Sci. Agric. Eng.**, 18:905-911, 1975.

MIRANDA, J. G. V. **Análisis fractal del microrrelieve del suelo**. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidade da Coruña. 313 p., 2000.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A. & URCHER, M.A. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **R. Bras. Ci. Solo**, 34: 443-452, 2010.

POTTER, K.N. Soil properties on random roughness decay by rainfall. **Transactions of the ASAE**, 33: 6.1889-1892, 1990.

RENARD, K.G. & G.R. FOSTER. **Soil conservation: Principles of erosion by water**. In H.E. Dregne and W.O. Willis, eds., Dryland Agriculture, Agronomy Monogr. 23, Am. SOC. Agron., Crop Sci. SOC. Am., and Soil Sci. SOC. Am., 155-176,1983.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL, D.K. & YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U.S. Department of Agricultura, 1997. 384p. (Agriculture Handbook, 703).

RÖMKENS, M. J. M. & WANG, J. Y. Effect of tillage on soil roughness. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 29: 429-433, 1986.

SCHICK, J. **Erosão hídrica em um Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo**. Lages, SC, UDESC, 1999, 114 p. (Dissertação de mestrado).

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

SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal of Soil and Water Conservation**, 32: 231-236, 1977.

STROO, H.F.; BRISTOW, K.L.; ELIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I. & CAMPBELL, G.S. Predicting rates of wheat residue decomposition. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 53: 91-99, 1989.

WAGNER, L. E. **Profile meter program. Documentation**. United States. Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Wind Erosion Research Unit. 27 p., 1992.

WAGNER, L. E. & YIMING YU. Digitization of profile meter photographs. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.** 34:2. 412-416, 1991.

WISCHMEYER, W. H. Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas. In: **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**, USDA-ARS, ARS-40, U. S. Govt. Printing Office, Washington, DC, p.118-124, 1975.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, 39: 285-291, 1958.

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

ZOLDAN JUNIOR, W.A. **Rugosidade superficial do solo ocasionada por uma operação de escarificação aplicada após cinco anos e meio de uso de sistemas de manejo do solo, e suas relações com a erosividade da chuva e erosão hídrica em um Nitossolo Háplico.** Lages, UDESC, 2006. 100p.

ZOLDAN JUNIOR, W.A.; BERTOL, I.; PEGORARO, R.; FABIAN, E.L.; ZAVASCHI, E. & VIDAL VÁZQUEZ, E. Rugosidade superficial do solo formada por escarificação e afetada pela erosividade da chuva. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:353-362, 2008.

ANEXOS

Anexo 1 - Teor de água do solo nas camadas de 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m do solo, determinada imediatamente antes da aplicação das chuvas simuladas, nos diferentes tratamentos nas duas repetições, em um CAMBISSOLO HÚMICO Aluminico léptico, Lages – SC.

Tratamentos	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- % -----				
0 – 0,1					
SRA	30	25	35	30	30
	34	25	33	18	28
SRE	22	19	32	25	25
	37	17	35	30	30
SEA	31	22	29	15	24
	34	24	34	30	31
SEE	20	18	30	18	22
	21	22	27	25	24
SDE	33	24	34	20	28
	33	23	31	21	27
Média	30	22	32	23	
0,1 – 0,2					
SRA	31	29	33	32	31
	34	25	33	18	27
SRE	21	26	33	29	27
	35	27	36	32	33
SEA	32	24	29	30	29
	38	29	34	36	34
SEE	21	22	27	29	25
	24	27	28	30	27
SDE	42	32	36	34	36
	36	28	37	31	33
Média	31	27	33	30	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 2 - Índice de rugosidade ao acaso da superfície do solo (RR) antes da escarificação (AP), imediatamente antes de cada chuva simulada, após a última chuva simulada (PT4) nas duas repetições dos tratamentos, bem como a média dos testes de chuva.

Tratamento	AP	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	PT4
	----- mm -----					
SEA	5,9	20,0	14,9	13,4	11,7	11,9
	3,5	20,9	16,1	14,6	13,0	11,4
SEE	4,0	20,8	17,3	13,4	14,9	11,4
	5,1	14,1	12,1	10,5	10,0	8,9
SDE	2,9	15,1	10,0	8,9	9,7	6,2
	2,9	14,1	9,2	7,8	7,1	7,9
Média	4,1	17,5	13,3	11,4	11,1	

SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 3 - Massa de resíduos culturais e cobertura do solo nos tratamentos, antes de cada chuva simulada nas duas repetições, e a média de cada repetição.

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- kg ha ⁻¹ -----				
SRA	4032	3726	2595	2086	3110
	5490	5431	5169	3341	4858
SRE	3720	3577	2516	2766	3145
	5021	4718	2584	2115	3610
Média	4566	4363	3216	2577	
	----- % -----				
SRA	100	97	96	98	98
	100	98	97	99	99
SRE	88	90	85	84	87
	91	92	86	90	90
SEA	22	18	17	16	18
	27	17	14	15	18
SEE	7	8	8	7	8
	6	5	6	5	6
SDE	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 4 - Tempo de início do escoamento nos quatro testes de chuva simulada e os valores médios de cada repetição e de cada teste de chuva simulada.

Tratamentos	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- minuto -----				
SRA	13	17	13	19	16
	19	27	14	28	22
SRE	18	17	4	12	13
	17	17	4	19	14
SEA	16	21	19	22	20
	18	26	22	8	19
SEE	14	18	3	7	11
	29	32	3	8	18
SDE	22	29	22	12	21
	43	17	3	7	18
Média	21	22	11	14	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 5 - Velocidade de escoamento superficial dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a média de cada repetição e de cada teste de chuva.

Tratamentos	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- cm s ⁻¹ -----				
SRA	1,8	1,8	5,0	4,9	3,4
	3,6	3,3	4,6	4,2	3,9
SRE	2,9	3,3	3,8	4,9	3,7
	2,5	2,9	5,6	6,3	4,3
SEA	1,7	2,2	6,1	11,4	5,4
	4,0	5,0	8,6	9,3	6,7
SEE	1,7	2,5	8,9	20,8	8,5
	4,0	8,6	12,0	13,9	9,6
SDE	11,1	20,0	16,7	25,0	18,2
	6,0	15,0	15,6	22,7	14,8
Média	3,9	6,5	8,7	12,3	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 6 - Diâmetro médio dos sedimentos transportados pela enxurrada dos tratamentos nos diferentes testes de chuva simulada, bem como a média das repetições e dos testes de chuva.

Tratamentos	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
	----- mm -----				
SRA	0,053	0,053	0,089	0,045	0,060
	0,037	0,045	0,052	0,062	0,049
SRE	0,147	0,375	0,531	0,071	0,281
	0,089	0,719	0,693	1,341	0,710
SEA	0,030	0,034	0,035	0,031	0,033
	0,030	0,035	0,035	1,554	0,413
SEE	0,049	0,035	1,433	1,010	0,632
	0,625	0,523	1,457	1,050	0,914
SDE	0,089	0,700	2,700	2,296	1,446
	1,443	0,979	1,277	2,691	1,597
Média	0,259	0,350	0,830	1,015	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 7 - Perdas de água dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda média das repetições e dos testes de chuva simulada.

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Média
SRA	62	62	69	49	61
	53	35	44	32	41
SRE	64	62	71	49	62
	48	47	52	54	50
SEA	72	79	81	73	76
	74	52	49	35	53
SEE	71	69	81	66	72
	65	53	53	50	55
SDE	63	57	57	55	58
	41	49	54	58	51

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 8 - Perda média de solo dos tratamentos em cada teste de chuva simulada, bem como a perda total das repetições e a perda média dos testes de chuva.

Tratamento	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Total
SRA	51	35	47	28	161
	49	31	32	28	140
SRE	148	238	292	164	842
	245	204	258	1452	2159
SEA	92	74	138	224	528
	370	96	516	31	1013
SEE	224	223	3531	6950	10928
	559	352	695	5571	7177
SDE	820	150	1814	4290	7074
	1240	817	4191	9311	15559
Média	380	222	1151	2805	

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.

Anexo 9 – Profundidade (prof.) e declividade (decl.) de cada repetição, bem como a profundidade e a declividade média do experimento.

	Tratamento										Média
	SRA		SRE		SEA		SEE		SDE		
Prof. (m)	0,50	0,50	0,70	0,45	0,50	0,50	0,35	0,60	0,25	0,30	0,47
Decl. (%)	13,86	12,37	14,52	13,68	13,86	12,83	13,39	12,93	13,39	13,57	13,44

SRA: solo coberto por resíduo de azevém; SRE: solo coberto por resíduo de ervilhaca; SEA: solo escarificado com raiz de azevém; SEE: solo escarificado com raiz de ervilhaca; SDE: solo descoberto escarificado. Fonte: próprio autor.