

A erosão hídrica é uma das principais causas a degradação do solo nos sistemas de produção agrícola, é fortemente influenciada pelo comprimento de declive, dentre outros fatores. Com este trabalho objetivou-se quantificar as perdas de solo (PS) e água (PA), em diferentes comprimentos de declive num Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em experimento de campo, cultivado em sistema de semeadura direta, em condição de chuva natural, em Lages, SC. Os tratamentos, com duas repetições, constituíram-se nos comprimentos de declive de 11 m, 22 m, 33 m e 44 m, em uma declividade média de 8%. Avaliou-se a erosão no período de 29/07/2015 a 16/07/2016, em eventos individuais de 49 chuvas erosivas.

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

Coorientador: Dr. Fabrício Tondello Barbosa

Lages, 2017

ANO  
2017

SONIA ARMBRUST RODRIGUES | EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES  
COMPRIMENTOS DE DECLIVE EM CONDIÇÃO DE SEMEADURA DIRETA



**UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES  
COMPRIMENTOS DE DECLIVE EM  
CONDIÇÃO DE SEMEADURA  
DIRETA**

SONIA ARMBRUST RODRIGUES

LAGES, 2017



**SONIA ARMBRUST RODRIGUES**

**EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE DECLIVE EM  
CONDIÇÃO DE SEMEADURA DIRETA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

**LAGES, SC  
2017**

Armbrust Rodrigues, Sonia

Erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive em condição de semeadura direta / Sonia Armbrust Rodrigues. - Lages , 2017.

58 p.

Orientador: Ildegardis Bertol

Co-orientador: Fabrício Tondello Barbosa

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. Perdas de água e solo. 2. Influência do relevo na erosão. 3. Cobertura do solo. 4. Manejo do solo. I. Bertol, Ildegardis. II. Tondello Barbosa, Fabrício. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Do Solo. IV. Título.


Ficha catalográfica elaborada pela autora, com auxílio do programa de geração automática da Biblioteca Setorial do CAV/UDESC.

**SONIA ARMBRUST RODRIGUES**

**EROSÃO HÍDRICA EM DIFERENTES COMPRIMENTOS DE DECLIVE EM  
CONDIÇÃO DE SEMEADURA DIRETA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

**Banca examinadora**



---

Orientador/Presidente: Dr. Ildegardis Bertol  
(UDESC- Lages-SC)



---

Membro externo: Dra. Luciane Costa de Oliveira  
(IFSC- Lages-SC)



---

Membro interno: Dra. Andréia Patrícia Andrade  
(UDESC- Lages-SC)

**Lages, SC, 20/02/2017.**



Dedico aos meus pais Celi e Antonio,  
que me apoiaram e incentivaram  
a lutar pelos meus sonhos.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo o que me deu nesta vida;

Aos meus pais Antonio Rodrigues e Celi Armbrust Rodrigues (*in memorian*) e meu irmão Paulo Armbrust Rodrigues pela educação, amor incondicional e a confiança que sempre me transmitiram;

Ao professor Ildegardis Bertol pela orientação, dedicação, incentivo, paciência, experiências transmitidas e ajuda incondicional em todas as etapas deste trabalho.

Ao Wander Cardoso Valim, pela compreensão, amizade e companheirismo durante todas as horas que necessitei;

Aos meus amigos pela grande amizade e carinho: Anair Diniz, Fabiana, Jean Camargo e muitos outros que me ajudaram neste tempo de estudos e aprendizado.

Aos meus colegas de laboratório que nesses anos de convivência me ajudaram em muito no projeto de pesquisa: Barbara, Tercio, Loriane, Nadine, Luiz, Leonardo, Luran, Maria Aparecida, Neuro, Marco, Vinícios Ferreira e Daniele.

A UDESC- Universidade do Estado de Santa Catarina, especialmente ao CAV e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela formação científica. Aos professores do Departamento de Solos pelos ensinamentos transmitidos. Á CAPES pela concessão da bolsa e aos seus funcionários que durante algum período ajudaram na minha formação.

Enfim, a todos que me ajudaram durante esse período de aprendizado!!!!.



*“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza; a sua origem e o seu fim.”*

Elizabeth Jhin



## RESUMO

Rodrigues, Sonia Armbrust. **Erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive em condição de semeadura direta**. 2017. 58p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2017.

Nos sistemas de produção agrícola a degradação do solo por erosão hídrica é uma das principais causas de contaminação ambiental, cuja erosão é fortemente influenciada pelo comprimento de declive, dentre outros fatores. Com este trabalho objetivou-se quantificar as perdas de solo (PS) e água (PA), em diferentes comprimentos de declive num Cambissolo Húmico Alumínico léptico, em experimento de campo, cultivado em sistema de semeadura direta, em condição de chuva natural, em Lages, SC. Os tratamentos, com duas repetições, constituíram-se nos comprimentos de declive de 11, 22, 33 e 44 m, em uma declividade média de 8%. Avaliou-se a erosão no período de cultivo do consórcio com aveia, nabo e ervilhaca entre julho e novembro de 2015, entre novembro de 2015 e fevereiro de 2016 com feijão preto solteiro e, de março a julho de 2016 com aveia preta solteira, em eventos individuais de 49 chuvas erosivas. A erosão hídrica aumentou com o aumento do comprimento de declive, no intervalo entre 11 m e 44 m, estabelecendo uma relação potencial entre as variáveis. As perdas de solo diminuíram do primeiro cultivo logo após a implantação da semeadura direta, deste para o segundo cultivo e, deste cultivo para o terceiro. As perdas de solo relacionaram-se linear e positivamente com a erosividade das chuvas e com as perdas de água, enquanto, as perdas de água relacionaram-se do mesmo modo com o comprimento de declive e com a altura de chuva em condição de cultivo do solo na forma de semeadura direta. As perdas de solo variaram menos do que as perdas de água, tanto entre os comprimentos de declive, quanto, entre os cultivos.

**Palavras- chave:** Perdas de água e solo. Influência do relevo na erosão. Cobertura do solo.

Manejo do solo.



## ABSTRACT

Rodrigues, Sonia Armbrust. **Water erosion under different slope lengths in no-tillage conditions**. 2017. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC, 2017.

In agricultural production systems soil degradation by water erosion is one of the main causes of environmental contamination, whose erosion is strongly influenced by slope length, among other factors. The objective of this work was to quantify the losses of soil (PS) and water (PA), in different slope lengths, in a field experiment, cultivated in a no-tillage system under natural rainfall condition, Lages, SC. The treatments, with two replications, consisted of slope lengths of 11, 22, 33 and 44 m, at an average slope of 8%. Erosion was evaluated during the growing season of the consortium with black oats, turnip and common vetch between July and November 2015, between November and February 2015/2016 with single black bean, and between March and July 2016 with single black oats, in individual events of 49 erosive rains. Water erosion increased with increasing slope length, in the range between 11 and 44 m, establishing a potential relationship between the variables. Soil losses decreased from the first crop shortly after the implantation of the no-tillage, from this to the second crop and from this crop to the third crop. Soil losses were linearly and positively related to rainfall erosivity and water losses, while water losses were related in the same manner to slope length and rainfall height in the growing condition of the soil. Soil in the form of no-tillage. Soil losses varied less than water losses, both between slope lengths, and between crops.

**Keywords:** Soil and water losses. Influence of relief on erosion. Ground cover. Soil management.





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista geral das parcelas experimentais e sistema coletor de enxurrada. ....	30
Figura 2. Desenho esquemático demonstrando a disposição das parcelas que constituem os tratamentos na área experimental. ....	31
Figura 3. Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais de aveia, nabo e ervilhaca na parcela de 11 metros. ....	32
Figura 4. Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais do feijão na parcela de 11 metros. ....	33
Figura 5. Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais de aveia na parcela de 11 metros. ....	33
Figura 6. Coleta de amostra da parte aérea (a) para determinação da massa seca, com auxílio do quadrado de madeira (b). ....	34
Figura 7. Coleta de plantas das duas linhas centrais para determinação de massa seca e produtividade. ....	35
Figura 8. Processo de medição da altura da água armazenada nas caixas de coleta (a) em cada parcela, coleta de sedimentos (b) e de água do escoamento superficial (c) para quantificar a erosão hídrica após cada chuva erosiva. ....	36
Figura 9. Relação entre as perdas de água total (PA) e o comprimento de declive (CD) (média das repetições). ....	43
Figura 10. Relação entre as perdas de solo total (PS) e o comprimento de declive (CD) (média das repetições). ....	46
Figura 11. Altura de chuvas erosivas em cada mês, durante o período da pesquisa, entre agosto de 2015 e julho de 2016. ....	47
Figura 12. Relação entre as perdas de água (PA) (média dos tratamentos) e altura de chuva, considerando os dados individuais de cada evento. ....	48
Figura 13. Relação entre as perdas de solo (PS) (média das repetições) e erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas, considerando os dados individuais de cada evento. ....	49
Figura 14. Relação entre as perdas de solo (PS) e as perdas de água (PA), considerando os dados coletados em cada tratamento e em cada chuva erosiva (média das repetições). ....	50

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores de densidade (DS), porosidade total do solo (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), nos diferentes tratamentos (Trat) e profundidades (Prof) do solo, obtidos em amostras coletadas no início (I) e ao final da pesquisa (F) (média das repetições).....37
- Tabela 2. Algumas propriedades químicas do solo nos diferentes tratamentos (Trat) e profundidades (Prof) do solo, obtidos em amostras coletadas no início (I) e ao final (F) da pesquisa (média das repetições). .....38
- Tabela 3. Valores do total de massa seca da parte aérea em cada cultivo para cada tratamento (média das repetições). .....41
- Tabela 4. Valores de perdas de água total, nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 no trabalho de Bágio (2016) e de 29/07/2015 a 16/07/2016 durante esta pesquisa (média das repetições). .....42
- Tabela 5. Valores de perdas de solo total, nos diferentes tratamentos, obtidas durante os anos de 2014/2015 no trabalho de Bágio (2016) e nesta pesquisa durante os anos de 2015/2016 (média das repetições). .....44
- Tabela 6. Valores de altura de chuva (AC), erosividade (EI<sub>30</sub>), perdas de solo (PS) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada cultivo (média das repetições).....47

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	19
2	Revisão de Literatura.....	21
2.1	Erosão hídrica pluvial.....	21
2.2	Fatores que influenciam a erosão hídrica.....	22
2.3	Influência do relevo na erosão hídrica.....	24
2.3.1	Influência do comprimento de declive nas perdas de solo e água.....	25
3	Hipóteses.....	27
4	Objetivo geral.....	28
5	Objetivos específicos.....	28
6	Material e Métodos.....	29
6.1	Localização, clima e tipo de solo da área experimental.....	29
6.2	Histórico de manejo do solo da área experimental.....	29
6.3	Unidade experimental ou parcela.....	30
6.4	Tratamentos.....	31
6.5	Períodos de cultivo e forma de implantação e manejo das culturas.....	31
6.6	Determinação da massa seca da parte aérea e produtividade das culturas.....	34
6.7	Quantificação da erosão.....	35
6.8	Caracterização do solo nas unidades experimentais.....	37
6.9	Determinações físicas e químicas em amostras do solo.....	38
6.10	Determinação da erosividade da chuva.....	39
6.11	Ajuste de dados, delineamento experimental e tratamento estatístico.....	39
7	Resultados e discussão.....	41
7.1	Massa seca da parte aérea das culturas.....	41
7.2	Perdas de água e solo.....	42
8	Conclusões.....	52
	Referências.....	53
	Anexo.....	58



## 1 INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um dos principais problemas ambientais decorrentes da produção agrícola, sendo responsável pela degradação do solo causada pelo uso da terra e/ou manejo do solo realizado de maneira inadequada. Assim, as perdas de solo, água, matéria orgânica e de nutrientes por erosão hídrica causam degradação do solo, diminuindo a sua fertilidade e a produtividade da maioria das culturas, e aumentando os custos de produção e a contaminação ambiental.

A semeadura direta tem como pressupostos menor revolvimento do solo e mínima incorporação dos resíduos culturais formando maior cobertura do solo do que o preparo convencional. A cobertura do solo dissipa a energia cinética das gotas de chuva que é o principal agente erosivo, reduzindo as perdas de solo e água por erosão hídrica na semeadura direta. Essa diminuição da erosão hídrica na semeadura direta contribuiu para que parte dos técnicos e agricultores da região sul do país deixassem de adotar práticas conservacionistas de suporte neste sistema de manejo do solo. Porém em determinadas situações, a adoção de uma única medida conservacionista, como a cobertura do solo por resíduos culturais, por exemplo, não é suficiente para controlar a erosão hídrica, principalmente em áreas com alta declividade e/ou com longo comprimento de declive.

O relevo é um fator muito importante na erosão hídrica, pois, o aumento do comprimento do declive e/ou da declividade do terreno potencializa o efeito gravitacional sobre a água de escoamento superficial e, com isso, aumenta a erosão hídrica. Em Santa Catarina, em geral os terrenos apresentam elevadas declividades e, muitas vezes, também longos comprimentos de declive. Nessas condições de relevo, chuvas críticas geram enxurrada também crítica, com grande volume e velocidade, resultando em escoamento com grande energia erosiva. Essa energia do escoamento, nessas condições de relevo, pode remover o resíduo cultural do seu local de origem e, sulcando o solo, reduzir a eficácia da cobertura no controle da erosão. Com isso, aumenta a erosão hídrica, sendo necessário adotar práticas conservacionistas mecânicas que reduzam o comprimento do declive, como é o caso do terraceamento agrícola.

A água e os sedimentos transportados pelo escoamento da água decorrente da erosão contêm nutrientes, matéria orgânica e outros produtos químicos, os quais podem ser depositados nos cursos de água. Isto resulta em empobrecimento do solo no local de origem da erosão e provoca poluição e eutrofização das águas superficiais, assoreamento de rios e lagos

fora do local da erosão. Como resultado final, ocorre degradação química, física e biológica do solo com redução de sua fertilidade e contaminação ambiental.

Com este trabalho objetivou-se avaliar as perdas de solo e água pela erosão hídrica pluvial em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, cultivado em condição de semeadura direta nos tratamentos constituídos dos comprimentos de rampa de 11, 22, 33 e 44 m, numa pendente com declividade média de 8%.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 EROÇÃO HÍDRICA PLUVIAL

A erosão hídrica pluvial do solo é aquela causada pela ação da chuva e da enxurrada a ela associada, a qual se processa nas fases de desagregação, transporte e deposição (ELLISON, 1947; WISCHMEIER & SMITH, 1978). A desagregação de partículas ocorre em razão principalmente do impacto das gotas de chuva e também do escoamento superficial da água sobre o solo. O transporte é realizado principalmente pelo escoamento superficial e também pelo impacto das gotas de chuva. A deposição ocorre sempre que a carga de sedimentos no fluxo supera a capacidade do mesmo para transportá-los. A erosão pode ser induzida pela atividade humana que, no caso, passa a ser acelerada. A quantidade de solo erodido depende da ação conjunta e integrada da chuva, solo, relevo, cobertura e manejo do solo e práticas conservacionistas (ELLISON, 1947; WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A primeira fase da erosão consiste na desagregação e separação das partículas de solo da massa que as contém (individualizadas granulométricamente ou na forma de agregados), tanto pela ação das gotas de chuva, quanto pela ação cisalhante da enxurrada. A desagregação é influenciada principalmente pela energia da chuva e pelas características intrínsecas do solo. A segunda fase é o transporte das partículas de solo desagregadas que ocorre tanto pelo salpico originado do impacto das gotas de chuva quanto pelo movimento da enxurrada. O transporte é influenciado principalmente pela energia do escoamento superficial e pelas características dos sedimentos. A terceira e última fase é a deposição ou sedimentação das partículas de solo desagregadas que se dá pelo movimento da enxurrada, também influenciada pela energia do escoamento e pelas características dos sedimentos. No campo, durante um evento de chuva erosiva essas fases ocorrem simultaneamente, dificultando, dessa forma, a distinção de uma em relação às outras (ELISON, 1947; FOSTER & MEYER, 1977).

A erosão hídrica pode ocorrer de duas formas distintas, de acordo com a sua grandeza e forma de ocorrência, relacionadas ao tipo de escoamento, sendo elas a erosão em sulcos e a erosão entre sulcos (MEYER et al., 1975). Na erosão entre sulcos, a desagregação das partículas em solo descoberto é ocasionada pelo impacto das gotas de chuva, e o transporte, o qual poderá ser na direção dos sulcos, se deve ao salpicamento provocado pelo impacto das gotas combinado ao fluxo laminar turbulento do escoamento superficial.

Na erosão em sulcos, a ação do escoamento superficial concentrado dentro dos sulcos é responsável tanto pela desagregação quanto pelo transporte. Esta forma de erosão é originada

em pequenos sulcos que se formam em decorrência do escoamento superficial, marcas das operações de preparo e nas depressões naturais do terreno. O impacto das gotas de chuva, apesar de não atingir diretamente a superfície do solo abaixo da lâmina de escoamento, produz turbulência no fluxo, aumentando a capacidade de desagregação e transporte, por suspender e manter suspensas as partículas de solo (MEYER et al., 1975; ALBERT et al., 1980; FOSTER, 1982).

Em condição de semeadura direta, a erosão entre sulcos pode não ocorrer se a cobertura do solo for total e efetiva, ou seja, se ela não for removida pela ação do escoamento superficial, mantendo, assim, a superfície de solo totalmente coberta. No entanto, nesse sistema de manejo, a erosão em sulcos pode ocorrer, em duas situações particulares. Primeiro, se o resíduo cultural for removido pela ação da enxurrada, o solo torna-se descoberto nessa região e, com isso, a ação cisalhante da enxurrada pode cortar o solo e formar sulcos. Segundo, mesmo que o resíduo não seja removido, a ação cisalhante da enxurrada pode agir por baixo do resíduo cultural, sem removê-lo do local, e cortar o solo formando igualmente sulcos. Nesses dois casos, a formação de sulcos resulta do aumento do volume e velocidade da enxurrada que ocorre principalmente em virtude do aumento do comprimento e/ou da declividade do terreno. Em ambas as situações, a ocorrência de erosão em sulcos resulta em aumento das perdas de solo com o aumento do comprimento e/ou da declividade. Esses conceitos são encontrados em Foster et al. (1982), Cogo (1981), Bertol (1995), Morais (1999), Amaral (2010) e Barbosa (2011).

## 2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A EROSÃO HÍDRICA

Os fatores que influenciam a erosão hídrica são o clima, o solo, o relevo, o uso, manejo e cobertura do solo, e as práticas conservacionistas (HUDSON, 1995; WISCHMEIER & SMITH, 1978). No caso da erosão hídrica pluvial, o fator clima é representado pela chuva.

A chuva é a componente do clima de maior importância na erosão hídrica do solo, sendo o fator ativo nessa erosão. A água da chuva exerce sua ação erosiva sobre o solo por meio do impacto das gotas que incidem sobre o solo com velocidade variável dependendo do seu diâmetro e número, e por meio do escoamento que cisalha o solo dependendo do seu volume e velocidade (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Assim, a erosividade da chuva, representada pelo fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) e Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE), consiste no potencial da chuva e enxurrada a ela associada em



causar erosão, é representada pelo produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min ( $EI_{30}$ ) (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O solo é o fator passivo que, representado pela erodibilidade (fator K da USLE/RUSLE), significa suscetibilidade do solo à erosão e, com isso, tem que resistir à ação da erosividade. O fator, determinado de forma direta pela razão entre as perdas de solo e a erosividade das chuvas, em condição de chuva natural ou chuva simulada, também pode ser determinado indiretamente por meio de análise de regressão linear simples entre essas duas variáveis (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A cobertura vegetal exercida por plantas e principalmente por resíduos culturais e o manejo do solo exerce grande influência sobre as perdas de solo, pois dissipa a energia cinética das gotas de chuva e do escoamento superficial. Com isso, impede ou diminui a desagregação e o selamento na superfície do solo e pode aumentar a resistência do solo ao sulcamento. A influência dessa variável na erosão é representada pelo fator C da USLE/RUSLE e varia de acordo com a erosividade da chuva e com a razão de perda de solo para cada cultura, cobertura e manejo ou cultivo do solo. Portanto, há grande dificuldade na determinação desse fator, em virtude das muitas combinações possíveis de erosividade, cultura, sistema de cultivo, tipo de preparo e manejo e tipo de solo (LEITE et al., 2009).

As práticas conservacionistas de suporte (fator P da USLE/RUSLE) estabelecem a relação entre as perdas de solo de uma dada área com determinada prática conservacionista de suporte e as perdas de solo de uma área sem nenhuma dessas práticas (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Controlam a erosão porque reduzem a velocidade e conseqüentemente capacidade de transporte do escoamento (FOSTER, 1982). As práticas conservacionistas de suporte são basicamente de caráter mecânico, e compreendem o preparo e semeadura em contorno, o cultivo em faixas com rotação de culturas e o terraceamento (WISCHMEIER & SMITH, 1978), podendo a alternância de capinas também ser considerada (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2005). Estas práticas têm por objetivo principal reduzir a ação erosiva do escoamento superficial, sendo complementares às práticas conservacionistas básicas, dadas pela cobertura e manejo do solo. O terraço agrícola, em especial, é a única prática conservacionista capaz de diminuir o comprimento do declive e, por isso, controlar adequadamente o volume e velocidade do escoamento superficial e as perdas de solo em pendentes originalmente longas.

Dentre os fatores da USLE/RUSLE, também o relevo destaca-se, por meio do fator topográfico (LS), um dos principais responsáveis pelas perdas de solo. É representado pelo efeito combinado do comprimento do declive e declividade do terreno. A intensidade da erosão

hídrica pode ser fortemente afetada pelo comprimento do declive (fator L) e seu gradiente (fator S). O fator L representa a relação de perdas de solos entre um comprimento qualquer do declive e o comprimento de rampa de 22,1 m, para os mesmos fatores R, K, S, C e P. O fator S trata da relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9%, também para os mesmos fatores R, K, L, C e P (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

### 2.3 INFLUÊNCIA DO RELEVO NA EROÇÃO HÍDRICA

O relevo afeta a redistribuição de água e sedimentos na paisagem devido à influência que tem no tipo de solo e de uso da terra (SANTOS et al., 2008). A declividade do terreno e comprimento de rampa da pendente, combinadamente ou individualmente, exerce acentuada influência sobre a erosão. O tamanho dos sedimentos e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem do volume e da velocidade com que ela escoar. Esses dois componentes do relevo, comprimento e declividade, têm sido avaliados separadamente na pesquisa e são representados na USLE/RUSLE por L e S. Na interpretação do efeito do relevo sobre a erosão, é mais conveniente considerar-se conjuntamente LS como fator topográfico (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A inclinação do declive do terreno influencia fortemente as perdas de solo e água por erosão hídrica, pois, à medida que ela aumenta, aumentam o volume e a velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo. Com isso, aumenta a capacidade de transporte das partículas de solo pela enxurrada, assim como a própria capacidade desta de desagregar solo, por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno (COGO et al., 2003). É comum encontrar-se a seguinte relação entre as perdas de solo (PS) e o fator S:  $PS \propto S^{1,2 \text{ a } 1,8}$  (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

O comprimento do declive aumenta na medida em que o caminho percorrido pela enxurrada vai aumentando e, com isso, não somente as águas vão-se avolumando, proporcionalmente, como a sua velocidade de escoamento vai aumentando progressivamente. Em princípio, quanto maior o comprimento de declive, mais enxurrada e com maior velocidade se acumula e, com isso, a energia resultante se traduz por uma erosão maior (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012). É comum encontrar-se a seguinte relação entre as perdas de solo (PS) e o fator L:  $PS \propto L^{0,2 \text{ a } 0,8}$  (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A erosão aumenta proporcionalmente mais com o aumento da declividade do terreno (fator S) do que com o aumento do comprimento do declive (fator L). Assim, 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). Assim, em um terreno com 20 metros de comprimento e 20% de declividade as perdas de solo por erosão hídrica se igualam às que ocorrem em outro terreno com 180 metros de comprimento e 1% de declividade (BERTONI, 1959). Isto revela a importância de se considerar, sempre, a combinação do comprimento da pendente com a declividade do terreno, em se tratando de previsão de erosão.

### 2.3.1 Influência do comprimento de declive nas perdas de solo e água

Mantendo-se constantes todos os fatores relacionados com a erosão hídrica e aumentando-se apenas o comprimento da pendente, tanto o volume de fluxo quanto a velocidade de enxurrada produzida por determinada chuva irão aumentar, elevando assim a erosão hídrica (BARBOSA, 2011).

Desse modo, mesmo em sistemas conservacionistas como a semeadura direta, em declives longos e/ou acentuados, ou sob altas taxas de enxurrada, os resíduos culturais podem ser removidos da superfície do solo com relativa facilidade, e, em decorrência, diminuir sua eficácia relativa de controle da erosão (FOSTER et al., 1982). O ponto ou distância no terreno onde os resíduos perdem eficácia relativa de redução da erosão denota o comprimento crítico de declive para aquela situação (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Em experimentos de chuva natural, Silva & De Maria (2011) avaliaram diferentes comprimentos de declive em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, de textura argilosa, com 6% de declividade média, em condição de semeadura direta por seis anos e observaram que não houve produção de sedimentos, enquanto, as perdas de água foram reduzidas em comprimentos de rampa de até 75 m em comparação a comprimentos menores.

Bagio (2016) avaliando diferentes comprimentos de declive em condição de chuva natural com solo descoberto verificou que as perdas de solo aumentaram com o aumento do comprimento de declive, comparando os comprimentos de 11, 22, 33 e 44 m, para um Cambissolo Húmico Alumínico léptico com declividade média de 8%.

Na Itália em pesquisa conduzida por Bagarello & Ferro (2010), em condição de chuva natural, os autores estudaram comprimentos de declive de 0,25; 0,4; 1; 2; 5; 11; 22; 33 e 44 m, em condição solo sem cultivo e descoberto, no qual contabilizaram um total de 40 eventos de chuva erosiva durante 10 anos de experimentação. As perdas totais de solo não variaram significativamente com o comprimento do declive.

Estudos sobre efeitos de comprimentos de declive ou falha de resíduos culturais sobre as perdas de solo, em condição de chuva simulada em campo, são poucos tanto no Brasil quanto no exterior. Em experimento com chuva simulada, Bertol et al. (1997) encontraram limites de comprimento crítico de declive para semeadura direta, variando de 328 a 483 m, de 157 a 272 m, de 106 a 143 m e de 87 a 174 m, respectivamente, sobre resíduo de milho, trigo+milho, trigo recém-colhido e trigo+milho, 140 dias após a colheita do trigo em superfície semeada, em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa com declividade de 6,6 %. Barbosa et al. (2012) encontraram limites de comprimento crítico de declive em um Nitossolo Bruno, para os resíduos de milho, trigo e soja, de 109 a 155 m, de 44 a 147 m e de 35 a 137 m, respectivamente. Amaral et al. (2014) avaliaram comprimentos críticos de declive, associados à falha do resíduo cultural de milho, em um Nitossolo Bruno, com 16% de declividade, e estabeleceram-se comprimentos críticos de declive de 64 m a 118 m na semeadura direta sem hastes sulcadoras, e de 171 m a 456 m na semeadura direta com hastes sulcadoras, conforme as doses de resíduo usadas em cada uma delas.

### 3 HIPÓTESES

1. A erosão hídrica aumenta com o aumento do comprimento de declive em área cultivada na forma de semeadura direta, estabelecendo uma relação potencial entre as variáveis no intervalo entre 11 m e 44 m.
2. As perdas de solo diminuem do primeiro cultivo logo após a implantação da semeadura direta, deste para o segundo cultivo e, deste, para o terceiro, devido ao progressivo aumento de biomassa cultural residual e cobertura do solo e de consolidação do solo.
3. As perdas de solo relacionam-se linear e positivamente com a erosividade e com a altura de chuva, enquanto, as perdas de água relacionam-se do mesmo modo com a altura de chuva em condição de cultivo do solo na forma de semeadura direta, devido ao fato das perdas totais de solo e água aumentarem com o aumento acumulativo da erosividade e da altura de chuva no tempo.
4. Em condição de semeadura direta, as perdas de solo relacionam-se melhor com as perdas de água do que com a erosividade das chuvas, devido ao efeito da cobertura do solo que dissipa melhor a energia erosiva da chuva do que a da enxurrada.
5. As perdas de solo variam menos do que as perdas de água, tanto entre os comprimentos de declive, quanto, entre os cultivos, devido ao limite de infiltração de água no solo que regula o escoamento.

#### **4 OBJETIVO GERAL**

Quantificar a erosão hídrica em uma pendente com comprimentos de rampa de 11, 22, 33 e 44 m, em solo cultivado com consórcio de aveia, nabo e ervilhaca no primeiro cultivo e com feijão e aveia, solteiros, respectivamente no segundo e terceiro cultivo, em condição de semeadura direta.

#### **5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Quantificar as perdas de solo e água nos quatro comprimentos de declive, após cada chuva erosiva e no total do ciclo dos cultivos.
2. Relacionar as perdas de solo e perdas de água com o comprimento do declive.
3. Relacionar as perdas de solo com a erosividade das chuvas e com as perdas de água e, estas com a altura de chuvas.

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 LOCALIZAÇÃO, CLIMA E TIPO DE SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida no período entre julho de 2015 e julho de 2016, em condição de chuva natural, em um experimento já instalado em campo, no campus do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages-SC, localizado entre 27° 49' S e 50° 20' W, a 923 m de altitude. O clima é do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen (WREGE et al., 2011), com temperatura média anual de 15,7 °C e precipitação média anual de 1.533 mm e erosividade anual de 5.033 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (SCHICK et al., 2014a). O solo da área é um Cambissolo Húmico Alumínico léptico, argiloso classificado conforme EMBRAPA (2013), com granulometria de 180 g kg<sup>-1</sup> de areia, 420 g kg<sup>-1</sup> de silte e 400 g kg<sup>-1</sup> de argila (SCHICK, 2014), e relevo suave-ondulado, com declividade média de 0,08 m m<sup>-1</sup> na área do experimento, cuja erodibilidade é de 0,0175 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (SCHICK et al., 2014b).

### 6.2 HISTÓRICO DE MANEJO DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Anteriormente à instalação do experimento, a área continha pastagem natural, a qual havia sido melhorada 25 anos antes, com gramíneas exóticas (azevém, dácilo e festuca) e leguminosas exóticas (trevo e cornichão). Naquela época, aplicou-se, em cobertura, 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico.

Em setembro de 2012, duas arações foram realizadas, a 1ª no início e, a 2ª, no final do mês. Em outubro, no início do mês fez-se a 1ª gradagem, na metade do mês a 3ª aração e, no final do mês, aplicou-se 5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e procedeu-se a 4ª aração e a 2ª gradagem. No início de novembro aplicou-se 300 kg ha<sup>-1</sup> de adubo fórmula N-P-K, 5-20-10 e, em seguida, realizou-se a 3ª gradagem. No final de novembro de 2012 semeou-se feijão manualmente, sem adubo, com “matraca”. Em dezembro aplicou-se 200 kg ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura e, em abril de 2013, o feijão foi colhido, tendo sido o resíduo retirado da área.

Em 20 de abril de 2013, uma aração foi realizada em contorno na área e, em seguida, uma gradagem na direção do declive, permanecendo o solo em pousio, sem cultivo, até o final de julho de 2013, quando mais uma aração e duas gradagens foram realizadas.

Em julho de 2013 as unidades experimentais, ou parcelas, foram instaladas, tendo sido delimitadas pelas chapas galvanizadas e pela calha coletora de enxurrada. Em novembro de

2013, a área foi gradeada e, em seguida, foi semeado milho, sem adubo, com auxílio de “matraca” ou “saraquá”. A semeadura foi realizada, em linhas distanciadas 0,7 m uma das outras. Desse modo, três linhas foram semeadas em cada parcela, no sentido do declive. Em maio de 2014, o milho foi colhido, tendo sido o resíduo da parte aérea retirado da superfície do solo das parcelas, permanecendo as soqueiras da cultura dentro do solo. Sobre essa condição, instalaram-se as chapas e calhas coletoras de enxurrada para, as quais, foram definidos os tratamentos. O experimento foi assim conduzido, até junho de 2015, sem cultivo e sem cobertura do solo, para realização de uma pesquisa para estudar a erosão hídrica em solo descoberto por Bagio (2016). Com esses dados de perda de solo e água, foram comparados ao deste experimento em condição de semeadura direta no período de julho de 2015 a julho de 2016.

### 6.3 UNIDADE EXPERIMENTAL OU PARCELA

Cada uma das parcelas tem dimensões de 2 m de largura e diferentes comprimentos de rampa, dependendo do tratamento, na direção da pendente. As parcelas foram delimitadas nas laterais e na extremidade que fica na parte mais alta da pendente por chapas galvanizadas de 2 x 0,2 m, cravadas no solo em torno de 0,1 m. Na parte mais baixa da pendente, cada parcela foi delimitada por um sistema coletor de enxurrada composto de uma calha para receber o material erodido de dentro da parcela, conforme Cogo (1978). Esta calha foi conectada por um cano PVC a um tanque de sedimentação situado 6 m abaixo, com capacidade de 310 L, 500 L, 750 L ou 1.000 L, dependendo da área da parcela.

**Figura 1:** Vista geral das parcelas experimentais e sistema coletor de enxurrada.



Fonte: Própria autora, 2017.



## 6.4 TRATAMENTOS

Os tratamentos avaliados na pesquisa foram conduzidos em condição de semeadura direta em quatro comprimentos de declive, em duas repetições de campo para cada tratamento, perfazendo um total de oito parcelas, como a seguir descritos e apresentados na figura 1.

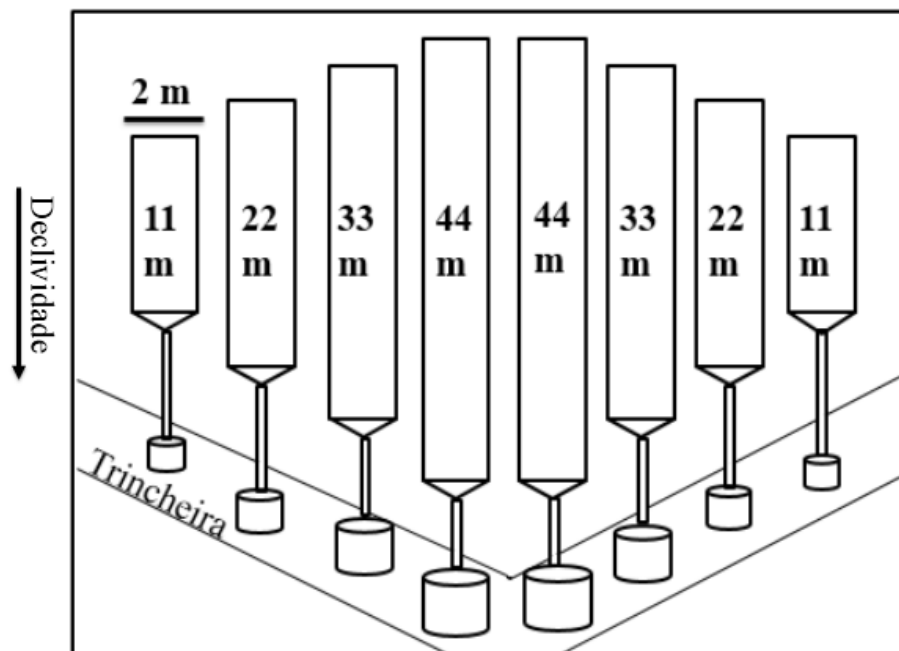
Tratamento 1: comprimento de rampa de 11 m, com declividade média de  $0,084 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 2: comprimento de rampa de 22 m, com declividade média de  $0,082 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 3: comprimento de rampa de 33 m, com declividade média de  $0,077 \text{ m m}^{-1}$

Tratamento 4: comprimento de rampa de 44 m, com declividade média de  $0,076 \text{ m m}^{-1}$

**Figura 2:** Desenho esquemático demonstrando a disposição das parcelas que constituem os tratamentos na área experimental.



Fonte: Própria autora, 2017.

## 6.5 PERÍODOS DE CULTIVO E FORMA DE IMPLANTAÇÃO E MANEJO DAS CULTURAS

O solo foi cultivado do seguinte modo durante o período da pesquisa: no 1º cultivo, entre julho e novembro de 2015, cultivou-se um consócio de Aveia preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*). Entre novembro de 2015 e fevereiro de 2016, o 2º cultivo com feijão preto (*Phaseolus vulgaris*) e entre março e julho de 2016 o 3º cultivo com aveia preta.

No 1º cultivo, a semeadura da aveia, nabo e ervilhaca foi realizada no dia 29 de julho de 2015. Naquele momento aplicaram-se 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 88%). Para a adubação foi aplicado 300 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio na formulação 5-3-15. A quantidade de sementes utilizadas foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de aveia, 40 kg ha<sup>-1</sup> de ervilhaca e 5 kg ha<sup>-1</sup> de nabo, distribuídas manualmente a lanço, e incorporadas manualmente com enxada, juntamente com o calcário e o adubo, na profundidade de 5 cm. No momento de enchimento de grãos da aveia, em novembro de 2015, as culturas foram roçadas com roçadora costal e a distribuição do resíduo vegetal foi uniforme sobre o solo. A cobertura do solo resultante foi de 100% visualmente conforme a figura 3.

**Figura 3:** Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais de aveia, nabo e ervilhaca na parcela de 11 metros.



Fonte: Própria autora, 2017.

No 2º cultivo foi semeado feijão preto, no dia 15 de novembro de 2015, com semeadora manual tipo “saraquá”, distribuindo-se aproximadamente 15 sementes por metro, no sentido do declive, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 0,2 m entre covas, com quatro linhas por parcela no sentido do declive (maior comprimento). Foi realizado tratamento de sementes com “Derosalplus” e “Cropstrar”. A adubação de base, na semeadura, foi a lanço, com 200 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 145 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Após a emergência realizou-se o desbaste deixando 15 plantas por metro. Antes da floração foi realizada adubação de cobertura, com 68 kg ha<sup>-1</sup> de ureia. No final de fevereiro de 2016 foi realizada a colheita manual e a biomassa residual foi distribuída sobre o solo. A cobertura do solo resultante foi de 100% visualmente conforme figura 4.

**Figura 4:** Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais do feijão na parcela de 11 metros.



Fonte: Própria autora, 2017.

No 3º cultivo semeou-se aveia preta no dia 29 de fevereiro de 2016, com  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes distribuídas a lanço e incorporadas manualmente com enxada. Não foi realizada a adubação. No dia 12 de julho a aveia foi roçada e a biomassa residual foi distribuída uniformemente sobre o solo. A cobertura do solo resultante foi de 100% visualmente conforme a figura 5.

**Figura 5:** Cobertura do solo após ser roçado e distribuição dos resíduos culturais de aveia na parcela de 11 metros.

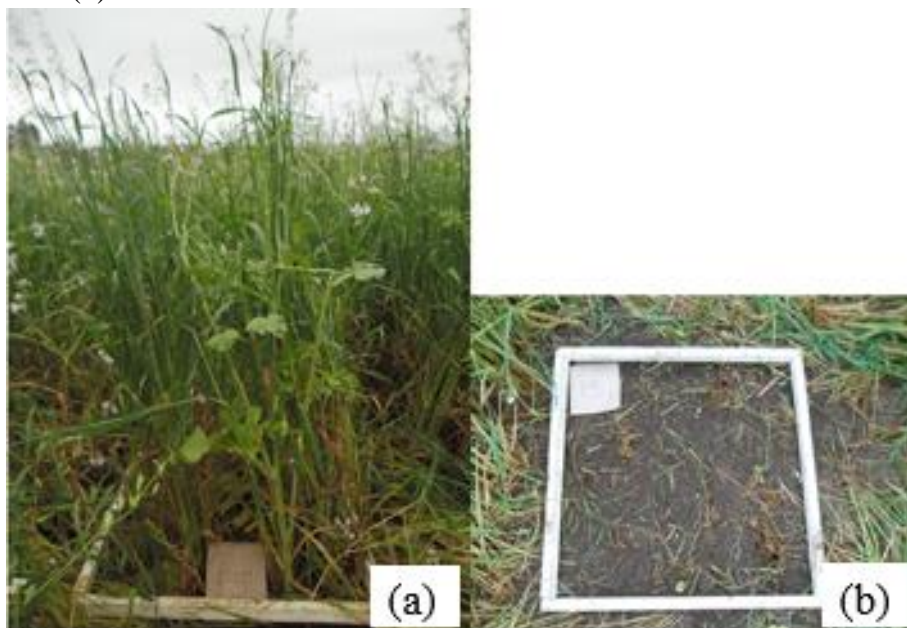


Fonte: Própria autora, 2017.

## 6.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA DA PARTE AÉREA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

A massa seca da parte aérea das culturas foi determinada num momento próximo ao final do ciclo de cada cultivo. No 1º e no 3º cultivos, coletou-se a massa em um ponto a cada 11 m de distância, em cada parcela, ou seja, em um ponto no comprimento de 11 m, em dois pontos no comprimento de 22 m, em três pontos no comprimento de 33 m e em quatro pontos no comprimento de 44 m, totalizando 20 amostras no experimento todo e o valor total da massa seca foi obtido através da média entre os pontos de cada tratamento. Com auxílio de um quadrado de madeira com a área de 0,36 m<sup>2</sup> (0,6 m x 0,6 m) foi coletada a parte aérea das culturas (Figura 6). O material verde obtido foi pesado e colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar, e temperatura de 45°C até obter-se massa seca e, após, as amostras foram novamente pesadas.

**Figura 6:** Coleta de amostra da parte aérea (a) para determinação da massa seca, com auxílio do quadrado de madeira (b).



Fonte: Própria autora, 2017

No 2º cultivo foram coletadas as duas linhas centrais de plantas de cada parcela (Figura 7). As plantas foram secas em estufa por 24 horas com temperatura de 45°C, foi determinada a produtividade dos grãos conforme as Regras de Análise de Sementes (RAS) e a massa seca da parte aérea do feijão.

**Figura 7:** Coleta de plantas das duas linhas centrais para determinação de massa seca e produtividade.



Fonte: Própria autora, 2017.

## 6.7. QUANTIFICAÇÃO DA EROSIÃO

As coletas de sedimentos e de água do escoamento superficial e medição da altura da água armazenada nas caixas de coleta, para quantificar a erosão hídrica, foram realizadas após cada chuva erosiva. As chuvas foram consideradas erosivas seguindo os critérios determinados por Wischmeier & Smith (1958) e modificados por Cabeda (1976). Segundo esses critérios, considera-se chuva erosiva aquela com altura igual ou superior a 10 mm ou com altura igual ou superior a 6 mm em um intervalo de tempo menor ou igual 15 minutos. Além disso, chuvas separadas por intervalos de seis horas sem precipitação ou com menos de 1 mm de altura são consideradas individuais e, por isso, são separadas uma das outras.

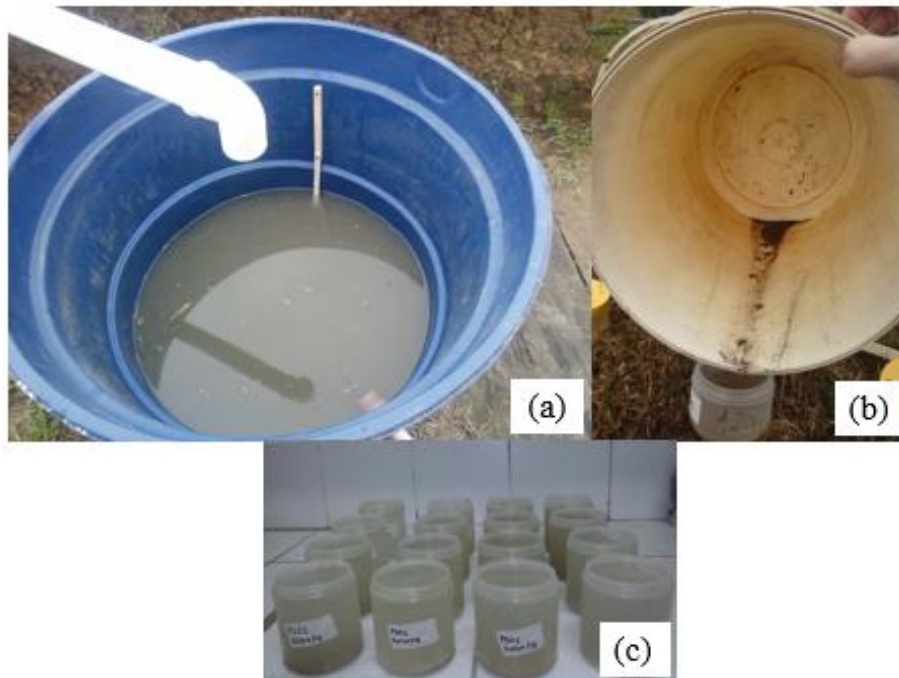
Para o registro da distribuição de altura das chuvas foi utilizado um pluviômetro (modelo Ville de Paris) instalado a 600 m da área experimental, no Campus do CAV/UEDESC.

As coletas de água e sedimentos pela erosão hídrica, em campo, e o processamento, em laboratório, foram determinadas para cada chuva erosiva individual, seguindo a metodologia recomendada por Cogo (1978). Assim, foi quantificado o volume de enxurrada e a massa de sedimentos perdidos em cada chuva e em cada parcela. Durante a pesquisa, foram quantificadas as perdas de solo provenientes de 49 chuvas erosivas.

Em cada caixa que armazenava a enxurrada de cada parcela, foi efetuada a medição da altura da suspensão (Figura 8), a enxurrada foi homogeneizada e dela foram coletadas duas

repetições em frascos plásticos com a capacidade de 350 cm<sup>3</sup> e a quantificação dos sedimentos erodidos. Os sedimentos foram retirados de dentro da caixa de sedimentação e das calhas, quando sua quantidade permitia, secos em estufa e pesados.

**Figura 8:** Processo de medição da altura da água armazenada nas caixas de coleta (a) em cada parcela, coleta de sedimentos (b) e de água do escoamento superficial (c) para quantificar a erosão hídrica após cada chuva erosiva.



Fonte: Própria autora, 2017.

No laboratório, em cada frasco destas amostras, foram adicionadas de 3 a 5 gotas de ácido clorídrico (2,5 N) com a finalidade de precipitar os sedimentos em suspensão. Após a sedimentação, que ocorria entre 24 e 48 horas após a aplicação do ácido clorídrico, o sobrenadante era sifonado e retirado de dentro dos frascos, com o auxílio de uma mangueira plástica, restando uma lâmina de cerca de 1 cm de água sobre os sedimentos. Os frascos eram levados à estufa com circulação de ar, na temperatura de 55–60°C, até que atingissem massa constante. Com as amostras da enxurrada, determinou-se a concentração sedimentos na enxurrada e a massa de sedimentos existentes na suspensão. O produto da altura de enxurrada dentro das caixas pela área das caixas forneceu o volume de enxurrada. A partir das amostras de sedimentos secos nos frascos, foi calculada a massa de solo seco contida em suspensão nas caixas, relacionando-se com o volume de enxurrada das caixas. Os valores de massa de solo seco e de água contidos nas caixas foram somados aos de massa de solo seco e de água contida nos sedimentos, permitindo a obtenção das perdas totais de solo e de água, ocorridas em cada chuva.

## 6.8 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO NAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Amostras do solo foram coletadas em quatro camadas: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; e 10-20 cm, em dois momentos, imediatamente antes de iniciar a pesquisa e após o término da mesma, para caracterização química e física do solo (Tabela 1 e 2), em uma posição em cada na parcela, num local no meio de sua extensão. Nas amostras com estrutura preservada, coletadas com auxílio de anéis (5 cm de diâmetro e 2,5 ou 5 cm de altura, conforme o caso), foi determinada a densidade e a porosidade (macro, micro e total) do solo, enquanto, nas amostras deformadas, foi determinada a estabilidade de agregados em água, o teor de P, K, CO, Ca e Mg, além do pH em água.

**Tabela 1:** Valores de densidade (DS), porosidade total do solo (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP), nos diferentes tratamentos (Trat) e profundidades (Prof) do solo, obtidos em amostras coletadas no início (I) e ao final da pesquisa (F) (média das repetições).

Trat	Prof	DS		PT		MI		MA		DMP			
		I	F	I	F	I	F	I	F	I	F		
m	cm	... kg dm <sup>-3</sup> ...		.....%.....								.... mm ....	
11	0-2,5	1,1	1,2	61	62	32	37	28	25	5,6	5,5		
	2,5-5	1,1	1,2	59	60	38	39	20	21	5,6	5,9		
	5-10	1,2	1,2	57	57	42	41	14	16	5,3	5,8		
	10-20	1,2	1,2	56	57	37	41	20	16	5,2	5,8		
22	0-2,5	1,1	1,1	63	60	32	39	31	21	5,1	5,3		
	2,5-5	1,1	1,2	62	62	36	43	26	20	5,5	6,0		
	5-10	1,2	1,2	57	56	43	41	14	16	5,3	6,0		
	10-20	1,3	1,3	56	55	45	43	11	13	5,8	6,0		
33	0-2,5	1,1	1,2	66	61	32	38	35	23	5,7	5,6		
	2,5-5	1,2	1,3	61	60	38	43	23	17	5,7	5,8		
	5-10	1,3	1,3	56	53	43	43	13	11	5,4	6,0		
	10-20	1,2	1,3	57	55	40	42	16	13	5,4	5,9		
44	0-2,5	1,1	1,2	61	61	31	41	29	20	5,6	5,7		
	2,5-5	1,1	1,2	60	61	37	41	23	20	5,3	5,8		
	5-10	1,3	1,2	58	56	44	39	14	17	5,4	6,1		
	10-20	1,2	1,2	57	57	45	40	12	16	5,4	6,0		

Fonte: Própria autora, 2017.

**Tabela 2:** Algumas propriedades químicas do solo nos diferentes tratamentos (Trat) e profundidades (Prof) do solo, obtidos em amostras coletadas no início (I) e ao final (F) da pesquisa (média das repetições).

Prof	Trat	pH		P Mehlich		K		CO		Ca		Mg	
		I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	I	F
cm	m	H <sub>2</sub> O (1:1)		..... mg dm <sup>-3</sup> .....				... % ...		..... cmole dm <sup>-3</sup> .....			
0-2,5	11	6,2	6,5	28,5	66,5	153	441	2,9	2,4	8,7	7,2	3,2	3,5
2,5-5	11	6,0	6,2	20,5	21,0	88	280	2,6	2,7	7,3	7,1	2,8	2,9
5-10	11	6,1	6,0	24,5	11,0	83	124	1,5	3,1	9,0	5,7	3,4	2,8
10-20	11	6,2	6,0	23,5	7,0	87	62	1,5	2,6	8,4	5,7	3,3	2,9
0-2,5	22	6,3	6,7	23,0	73,5	192	533	1,6	2,9	8,8	6,9	3,6	3,5
2,5-5	22	6,6	6,7	25,0	29,0	157	310	1,4	3,4	8,4	6,9	3,5	3,6
5-10	22	6,7	6,4	24,0	15,5	120	136	1,6	2,7	9,9	6,8	4,2	3,5
10-20	22	6,8	6,4	16,5	9,0	88	55	1,6	2,6	8,6	6,0	3,8	3,5
0-2,5	33	6,1	6,9	20,5	68,5	123	675	1,5	2,1	8,2	6,4	3,3	3,4
2,5-5	33	6,2	6,7	22,0	16,5	137	335	1,5	3,0	8,2	6,7	3,3	3,7
5-10	33	6,1	6,5	14,0	9,0	124	169	1,2	3,0	6,4	6,5	2,8	3,6
10-20	33	6,1	6,4	16,0	17,5	75	54	1,3	3,0	7,1	6,1	3,1	3,8
0-2,5	44	5,9	6,4	14,5	84,0	141	546	1,9	2,9	7,5	6,5	2,8	3,1
2,5-5	44	6,0	6,3	15,5	30,0	127	324	1,6	2,9	7,6	6,2	3,2	3,2
5-10	44	6,0	6,2	14,5	17,0	114	126	1,4	2,8	7,3	6,0	2,9	2,9
10-20	44	5,8	6,0	18,5	13,0	87	65	2,1	2,9	5,6	5,7	3,0	2,9

Fonte: Laboratório de Análise de Solos – LAS, UDESC/CAV, 2016.

## 6.9 DETERMINAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS EM AMOSTRAS DO SOLO

As amostras coletadas com o auxílio de anéis volumétricos e saturadas foram levadas à mesa de tensão de areia com sucção de 0,6 m de coluna d'água. Posteriormente, as amostras foram secas na estufa à temperatura de 105° C até massa constante, em seguida pesadas. Com esses valores calculou-se a densidade do solo pela relação massa/volume em base de solo seco. A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão de areia. A diferença entre percentagem de saturação e microporosidade resultou nos valores de macroporosidade. A porosidade total foi obtida pela soma da microporosidade e da macroporosidade. Essas análises seguiram a metodologia descrita em Forsythe (1975). A estabilidade de agregados em água foi determinada por balanceamento a úmido, seguindo o método proposto por Yoder (1936), utilizando um conjunto de quatro peneiras com abertura de malhas de 4,76; 2; 1 e 0,25 mm, com 40 oscilações verticais por minuto, durante 10 min. O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água (DMP) foi calculado pelo método descrito por Kemper & Chepil (1965).



Os teores de carbono orgânico no solo foram determinados por titulometria, utilizando o método de Walkley-Black, que tem o princípio da oxidação dos compostos orgânicos do solo por dicromato em meio ácido. O índice pH em água foi determinado em amostras de solo diluídas 1:1. Os teores de P extraível e de K trocável no solo foram extraídos por duplo ácido (Mehlich<sup>-1</sup>), sendo o P determinado por colorimetria e o K por fotometria de chama. Os teores de Ca e Mg trocável solo foram extraídos com solução de KCl 1M e quantificados por leitura em absorção atômica. Esses procedimentos analíticos estão descritos em Tedesco et al. (1995).

#### 6.10 DETERMINAÇÃO DA EROSIVIDADE DA CHUVA

Para a determinação do fator de erosividade das chuvas foram usados pluviogramas diários, modelo IH-01-01, com amplitude de registro de 10 mm de precipitação e de 24 horas de duração, com unidades de 0,2 mm, para o volume, e de 10 minutos, para o tempo.

Nos pluviogramas diários as chuvas erosivas foram cotadas manualmente em segmentos de intensidade uniforme, e registradas em planilhas. Posteriormente, utilizou-se o programa *Chuveros*, desenvolvido pelo prof. Elemer Antonino Cassol (UFRGS), para calcular a energia cinética segundo Wischmeier & Smith (1978).

#### 6.11 AJUSTE DE DADOS, DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTO ESTATÍSTICO

As perdas de solo foram ajustadas devido à variação de declividade dentro de cada parcela e entre as parcelas (Anexo 1). Para isso, foi utilizado o procedimento do fator S (fator declividade do terreno) da Equação Universal de Perda de Solo (USLE/RUSLE) conforme calculado por Bagio (2016). O fator S médio para cada parcela e o fator S da parcela padrão com declividade de 0,09 m m<sup>-1</sup> (padrão da USLE/RUSLE), foi calculado conforme proposto por Wischmeier & Smith (1978), por meio da seguinte equação:

$$S = 0,065 + 4,56\text{sen}\theta + 65,41 (\text{sen}\theta)^2, \text{ onde:} \quad (1)$$

S = fator grau do declive; e

$\theta$  = ângulo do declive.

Para o ajuste dos dados de perdas de solo, foi calculado um fator de correção (Fc) para cada parcela, tendo como base os valores de fator S calculados pela equação a seguir:

$$F_c = S \text{ da declividade de } 0,09 \text{ m m}^{-1} / S \text{ da declividade média da parcela} \quad (2)$$

Os valores de perda de solo de cada parcela foram corrigidos para a declividade média de  $0,09 \text{ m m}^{-1}$ , multiplicando-se os valores observados em campo pelo  $F_c$  calculado para a respectiva parcela pela equação (2).

O experimento foi instalado utilizando o delineamento de parcelas distribuídas inteiramente ao acaso, com duas repetições por tratamento. Os dados de perdas de água e solo por erosão hídrica foram submetidos primeiramente ao teste de normalidade, em seguida os tratamentos foram submetidos à análise de variância e, quando as médias diferiram, foram comparadas pelo Teste de Tuckey ( $p \leq 0,05$ ), com o uso do programa estatístico ASSISTAT 7.7 Beta (2016). Graficamente, foram relacionadas perdas de solo com perdas de água; perdas de solo com  $EI_{30}$ ; e perdas de água com altura de chuva.

Foi efetuada relação potencial entre os valores de perdas de solo e os de comprimento de declive, utilizando o modelo  $Y = aX^b$ . Relação linear simples foi realizada entre os valores de perdas de solo e erosividade ( $EI_{30}$ ) da chuva, entre os de perdas de solo e perdas de água, entre os valores de perdas de água e comprimento de declive entre os de perdas de água e altura de chuva, utilizando o modelo  $Y = a + bX$ .

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 MASSA SECA DA PARTE AÉREA DAS CULTURAS

Os valores totais de massa seca da parte aérea (MS) produzida pelo consórcio de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca comum no 1º cultivo, de feijão preto no 2º e de aveia preta no 3º cultivo, estão apresentados na tabela 3. Por meio dos dados observa-se grande quantidade de MS da parte aérea produzida e depositada na superfície do solo pelo consórcio aveia, nabo e ervilhaca, com uma média de 6,5 t ha<sup>-1</sup> nesse cultivo. No 2º cultivo, o feijão preto produziu, em média, 4 t ha<sup>-1</sup> de MS da parte aérea e, no 3º cultivo, a aveia preta produziu uma média de 7 t ha<sup>-1</sup> de MS. Esses valores são superiores aos encontrados por Giacomini et al. (2003), de 4,6 t ha<sup>-1</sup> para a aveia preta. Almeida (2016) encontrou valores de MS de feijão preto variando entre 3,6 a 4,3 t ha<sup>-1</sup>, semelhante, portanto, ao encontrado nesta pesquisa.

Assim, a cobertura do solo formada pelos resíduos culturais influenciaram nas perdas de solo e água. Dechen et al. (2015) concluíram que a cobertura vegetal atua na redução da perda de solo e água. Os autores compararam 0% e 90% de cobertura, que reduziu as perdas médias de água em 52% e as de solo em 54%.

**Tabela 3:** Valores do total de massa seca da parte aérea em cada cultivo para cada tratamento (média das repetições).

Cultura	Tratamento	Massa seca	
		m	kg parcela <sup>-1</sup>
Consórcio de aveia, nabo e ervilhaca	11	10,4	4,70
	22	28,6	6,51
	33	50,0	7,58
	44	65,0	7,38
Feijão solteiro	11	10,1	5,09
	22	14,8	3,75
	33	23,3	3,20
	44	32,5	4,10
Aveia solteira	11	15,6	7,07
	22	28,4	6,53
	33	50,7	7,68
	44	60,6	6,89

Fonte: Própria autora, 2017.

## 7.2 PERDAS DE ÁGUA E SOLO

Durante o período da pesquisa ocorreram 49 chuvas erosivas, totalizando 1.781 mm, 16% maior do que a altura média de chuva de um período de 24 anos determinado por Schick et al. (2014a) para este mesmo local. O potencial de erosividade ( $EI_{30}$ ) destas chuvas, representado pelo produto entre a energia cinética de cada chuva e a intensidade máxima em 30 minutos dentro da mesma chuva, apresentou o valor de  $5.503 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  durante o ano que transcorreu a pesquisa. Este valor foi 18% maior do que o valor médio anual de um período de 24 anos determinado pelo autor para este mesmo local.

As perdas de água (PA) estão apresentadas na Tabela 4. Houve uma variação numérica na comparação dos tratamentos com 11 m e com 33 m de comprimento de declive, equivalente ao percentual que variou entre 5,3 e 10,9%, nos valores de PA. A diferença numérica nos valores de PA entre estes dois tratamentos foi de duas vezes, enquanto, a diferença no comprimento de declive entre eles era de três vezes.

**Tabela 4:** Valores de perdas de água total, nos diferentes tratamentos, obtidas no período de 04/07/2014 a 18/06/2015 no trabalho de Bágio (2016) e de 29/07/2015 a 16/07/2016 durante esta pesquisa (média das repetições).

Tratamento	Perdas de água			
	2014/2015		2015/2016	
m	%	mm	%	mm
11	28,9	392	5,3	168
22	30,3	410	5,3	218
33	41,8	565	10,9	365
44	42,0	568	8,6	328
CV%	32	20	24	34

Própria autora, 2017.

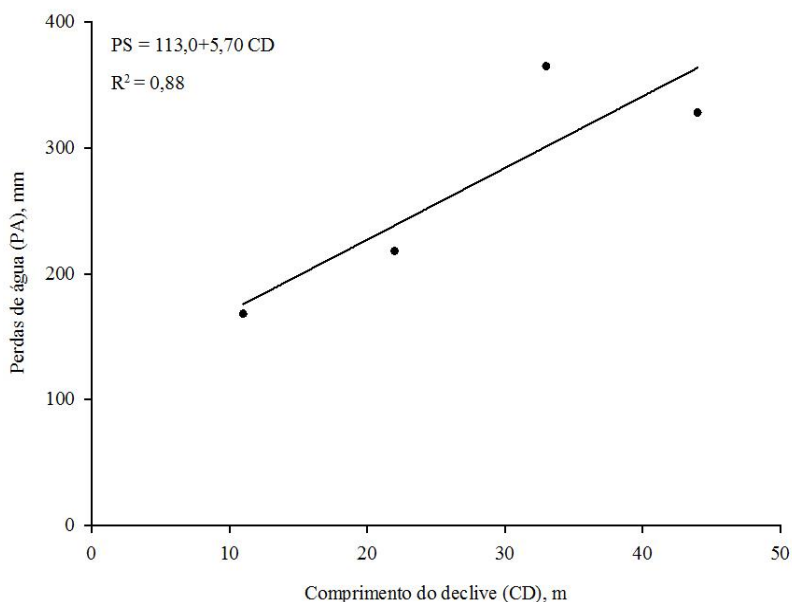
Os dados de PA avaliado por Bágio (2016), em solo descoberto (média dos tratamentos), foi 2 vezes maior, do que as PA comparando a deste experimento em SD, houve uma redução de 44% em relação ao solo descoberto. Essa redução ocorreu devido ao experimento sem cultivo não possuir cobertura do solo, que favoreceu o selamento superficial e diminuiu a capacidade de retenção superficial de água do solo, reduzindo a infiltração de água neste e aumentando o escoamento superficial. Quanto à semeadura direta, sua menor perda de água pode ser explicada pela manutenção praticamente integral dos resíduos culturais na superfície do solo, evitando o selamento superficial e, por conseguinte, auxiliando a infiltração de água e

reduzindo o escoamento superficial. O fato da semeadura direta o solo não ter sido mobilizado por ocasião da implantação das culturas, provavelmente, manteve a continuidade de poros, com isso, auxiliou a infiltração de água, melhorando assim o movimento interno de água no seu perfil (AMARAL et al., 2008).

Schick (2014) encontrou valores de PA de 124 mm para o tratamento cultivado sob SD e 512 mm para solo sem cobertura (SSC), na área experimental contígua à esta, na média de 20 anos de pesquisa, sendo este valor inferior ao encontrado para SD na parcela de 22m no presente trabalho, essa maior PA ocorreu devido ao curto período de tempo de avaliação desta pesquisa, que não foi suficiente para ocorrer a consolidação do solo.

Na figura 9 apresenta a relação entre as perdas de água total e o comprimento de declive. As PA foram influenciadas pelo comprimento de declive, assim, a medida que aumentou o comprimento até 33 m houve um aumento nas perdas de água, devido ao aumento do volume da enxurrada. Porém com aumento do comprimento para 44m, as perdas de água foram reduzindo. Esse fato pode ser atribuído a enxurrada que percorre uma distância maior, com isso maior a possibilidade da água infiltrar (BERTONI, 1959).

**Figura 9:** Relação entre as perdas de água total (PA) e o comprimento de declive (CD) (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2017.

Assim, um fator que contribuiu a infiltração de água no solo, foi a cobertura proporcionada pelas plantas e resíduos culturais no sistema de semeadura direta. Panachuki et al. (2011) ressaltaram a importância da manutenção da cobertura do solo com quantidades elevadas de resíduo vegetal para preservar as propriedades físicas e impedir a formação de

selamento superficial, que é uma das principais causas da diminuição da infiltração de água no solo.

Silva (2010) avaliou as PA com diferentes comprimentos de declive em semeadura direta e verificou que os volumes totais escoados em 25 e 50 m de comprimento de rampa foram semelhantes entre si e menores do que no comprimento de 75 m. Segundo este autor, as reduções nas PA, em condição de SD com semeadura em contorno, foram de 50% e 24% nos comprimentos de declive de 25 e 50 m em relação ao de 75 m. Tais reduções nas PA foram devidas à maior possibilidade que a água teve de infiltrar ou evaporar, em razão do aumento do percurso percorrido pela enxurrada na superfície do solo, segundo o autor.

Contudo outros autores observaram resultados diferentes. Zingg (1940), Lal (1983) e Bertoni et al. (1972), em trabalhos realizados para detectar a influência do comprimento do declive no escoamento, constaram que o aumento do comprimento do declive diminuiu o escoamento superficial.

Os valores de perdas de solo (PS) total estão na tabela 5 e, neles, se observa que houve diferença estatística entre os tratamentos de comprimento de declive. As PS aumentaram 3,4 vezes (de 3,7 para 12,5 kg) para um aumento de quatro vezes no comprimento de declive (de 11 m para 44 m), no período total da pesquisa. Na medida em que aumenta o comprimento de declive, aumenta a energia erosiva do escoamento superficial em função do aumento do volume e velocidade da enxurrada (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Assim, no tratamento de 11 m de comprimento de declive, por exemplo, as PS totais (3,7 kg) foram equivalentes a 30% daquelas ocorridas do tratamento de 44 m (12,5 kg). Essa redução nas PS no comprimento de declive mais curto em relação ao mais longo é atribuída à diminuição do volume e velocidade da enxurrada que se traduziu na redução da energia erosiva da mesma. (FOSTER, 1982).

**Tabela 5:** Valores de perdas de solo total, nos diferentes tratamentos, obtidas durante os anos de 2014/2015 no trabalho de Bágio (2016) e nesta pesquisa durante os anos de 2015/2016 (média das repetições).

Tratamento	Perdas de solo		
	2014/2015	2015/2016	Total
m	----- kg parcela <sup>-1</sup> -----		
11	360 c <sup>(1)</sup>	3,7 b	363,7
22	820 bc	4,7 ab	824,7
33	1.320 b	7,2 ab	1.327,2
44	1.930 a	12,5 a	1.942,5
CV%	12	30	

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste t, a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. Fonte: Bágio, 2016; Própria autora, 2017.

Schick (2014) encontrou PS de  $1,07 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para o tratamento cultivado sob semeadura direta em uma área experimental contígua à esta, na média de 20 anos de pesquisa. Assim, ao comparar as PS do tratamento com 22 m de comprimento ( $1,07 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) desta pesquisa (Tabela 5) com as PS obtidas por Schick (2014) em tratamento com o mesmo comprimento de declive, ambos em SD, mas com tempos de condução diferentes, obtiveram mesmo valor de perda de solo.

Comparando os dados de PS obtidos por Bagio (2016) em condição de solo sem cultivo e descoberto, com os dados de PS (média dos tratamentos) obtidos nesta pesquisa em que o solo foi cultivado na condição de semeadura direta no período 2015/2016, houve uma redução de PS expressiva, de 99%. Assim a PS média verificado pela autora foi 158 vezes maior que as PS deste experimento. Essa redução da PS pode ser atribuída, principalmente, à proteção da superfície do solo proporcionada pelas copas das plantas, impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação do solo e resultando em baixa concentração de sedimentos no escoamento superficial (GUADAGNIN et al., 2005)

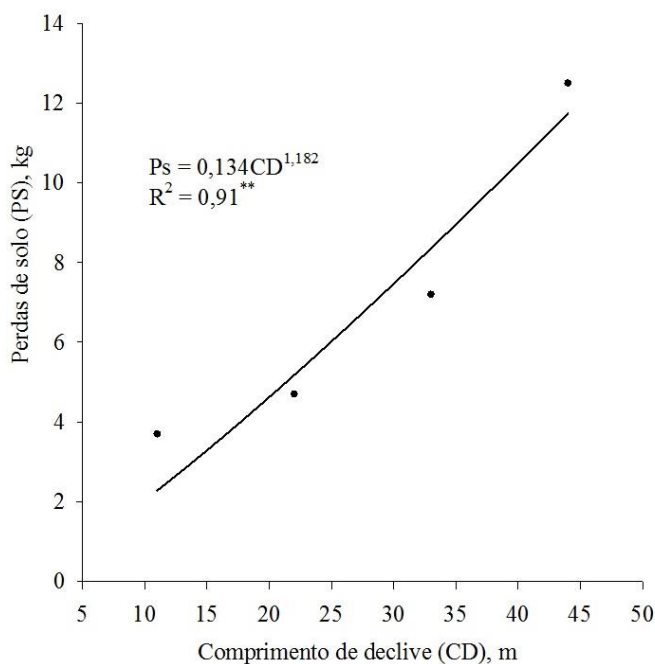
É importante ressaltar que os valores de PS obtidos nesta pesquisa são muito inferiores aos de tolerância de perda de solo proposta por Bertol & Almeida (2000), da ordem de  $9,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para este tipo de solo. Assim este sistema de manejo (SD), nesses comprimentos de declive, são conservacionistas de solo do ponto de vista da manutenção da capacidade produtiva do solo.

Na figura 10 é apresentada a relação potencial entre os valores de PS totais e o comprimento de declive (CD). Na medida em que aumentou o comprimento do declive aumento os valores de PS, de forma potencial. Essa correlação ( $R^2 = 0,91^{**}$ ) do tipo  $y = x^b$ , significa que duplicando o valor de comprimento de declive, entre 11 m e 22 m e entre 22 m e 44 m, as PS de solo aumentaram 51%, na média da extensão entre 11 e 44 m. Esse aumento foi semelhante aos observados por Bertoni et al. (1972) que foram de 40% e 60% quando duplicado o comprimento de declive de 25 m para 50 m e de 50 m para 100 m, em parcelas com declividade entre 6,5 e 7,5% e precipitação média de 1.300 mm. Assim, o expoente do fator L da USLE foi de 1,182 muito superior ao valor máximo para essa relação (0,8) apresentado por Wischmeier & Smith (1978).

A relação proposta por Wischmeier & Smith (1978), também não foi verificada por Bagarello & Ferro (2010). Esses autores observaram que as perdas totais de solo não variaram significativamente com o comprimento do declive. A justificativa apresentada pelos autores foi de que o aumento do comprimento de declive teve um efeito moderado no aumento da taxa de erosão em sulcos e um efeito apreciável na taxa de erosão entre sulcos. Portanto, para os autores,

a relação detectada entre as perdas de solo e o comprimento de declive, pura e simples, nas condições avaliadas, não foi suficiente para explicar a relação potencial que deveria ocorrer, entre essas duas variáveis.

**Figura 10:** Relação entre as perdas de solo total (PS) e o comprimento de declive (CD) (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2017.

No Brasil, Silva & De Maria (2011) verificaram que o comprimento de declive não influenciou as perdas de solo, em cujo período de avaliação não houve produção de sedimentos e as perdas de água foram reduzidas em comprimentos de declive de até 75 m em um Latossolo, cultivado sob SD durante seis anos.

Na tabela 6 estão apresentados os valores de altura de chuva, índice de erosividade ( $EI_{30}$ ), perdas de água e perdas de solo, por cultivo. A altura de chuva e o índice  $EI_{30}$  no primeiro cultivo representaram, respectivamente, 44% e 53% do total anual dessas variáveis, justificando, em parte, as maiores perdas de solo que, neste período, totalizaram 87% das perdas anuais, na média dos tratamentos.

Os maiores valores de PS e PA no 1º cultivo são atribuídos, ainda, a ausência de resíduos culturais na superfície do solo e também por ter ocorrido, nesse período, a maior precipitação pluviométrica que resultou na maior erosividade nesse período. É importante lembrar que esse cultivo (o primeiro), foi implantado em solo descoberto após a conclusão da pesquisa de Bágio (2016).



**Tabela 6:** Valores de altura de chuva (AC), erosividade (EI<sub>30</sub>), perdas de solo (PS) e perdas de água (PA), nos diferentes tratamentos, obtidos em cada cultivo (média das repetições).

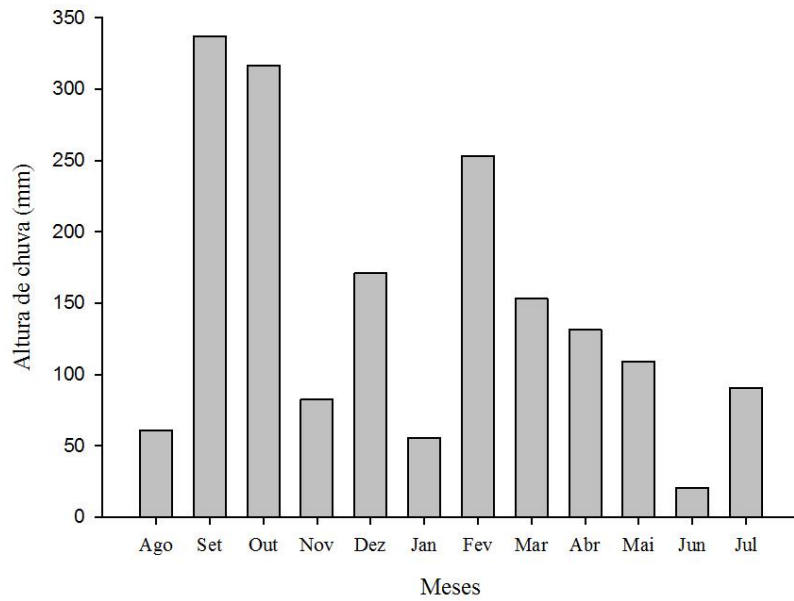
Cultura	Tratamento	AC	EI <sub>30</sub>	PS	PA	PS/AC
	m	mm	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	kg parcela <sup>-1</sup>	mm	
Aveia, nabo e ervilhaca	11	781	2.924	3,06	121	0,004
	22	781	2.924	4,07	178	0,005
	33	781	2.924	5,98	282	0,008
	44	781	2.924	11,36	260	0,015
Feijão	11	496	1.433	0,31	25	0,001
	22	496	1.433	0,28	20	0,001
	33	496	1.433	0,44	35	0,001
	44	496	1.433	0,47	26	0,001
Aveia	11	505	1.146	0,32	21	0,001
	22	505	1.146	0,36	20	0,001
	33	505	1.146	0,80	48	0,002
	44	505	1.146	0,70	42	0,001

Fonte: Própria autora, 2017.

A PS no segundo e terceiro cultivo foram menores do que no primeiro, o que é atribuído ao aumento de massa dos resíduos culturais sobre o solo ao longo do período de tempo da pesquisa. Esses dados são semelhantes aos obtidos por Lopes et al. (1987) e Ramos et al. (2014). Estes autores concluíram que o aumento da massa de resíduos e, principalmente, aqueles com maior número de peças para a mesma massa, cobrem melhor a superfície do solo porque têm maior área superficial específica do que resíduos com peças de maior tamanho. Isto confere aos resíduos com maior área superficial específica, principalmente, maior eficácia no controle da erosão hídrica (FOSTER, 1982).

Na figura 11 a distribuição da precipitação pluviométrica mensal, durante o período da pesquisa, mostrando que nos meses de setembro e outubro, correspondente à fase inicial do 1º ciclo de cultivo, as precipitações foram maiores do que nos demais meses. Nesses dois meses as PS e PA também foram maiores. Schick (2014) concluiu que o período do ano compreendido entre setembro e fevereiro é o mais crítico em relação ao potencial erosivo das chuvas em Lages, SC, o que dá suporte aos resultados obtidos nesta pesquisa.

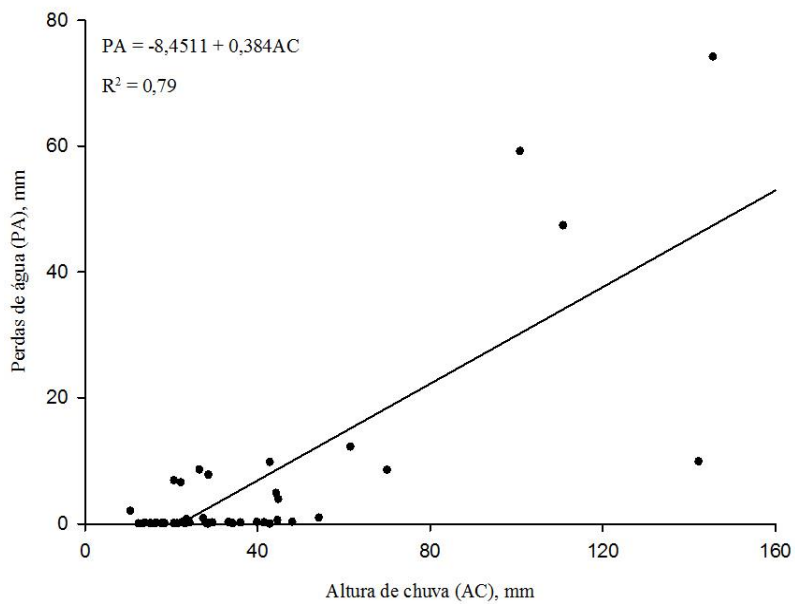
**Figura 11:** Altura de chuvas erosivas em cada mês, durante o período da pesquisa, entre agosto de 2015 e julho de 2016.



Fonte: Própria autora, 2017.

A relação linear entre as perdas de água e a altura de chuva, considerando os valores individuais de cada uma dessas variáveis, na média dos tratamentos, está apresentada na Figura 12. Essa relação significa que quanto maior a altura de chuva maior foi a perda de água.

**Figura 12:** Relação entre as perdas de água (PA) (média dos tratamentos) e altura de chuva, considerando os dados individuais de cada evento.

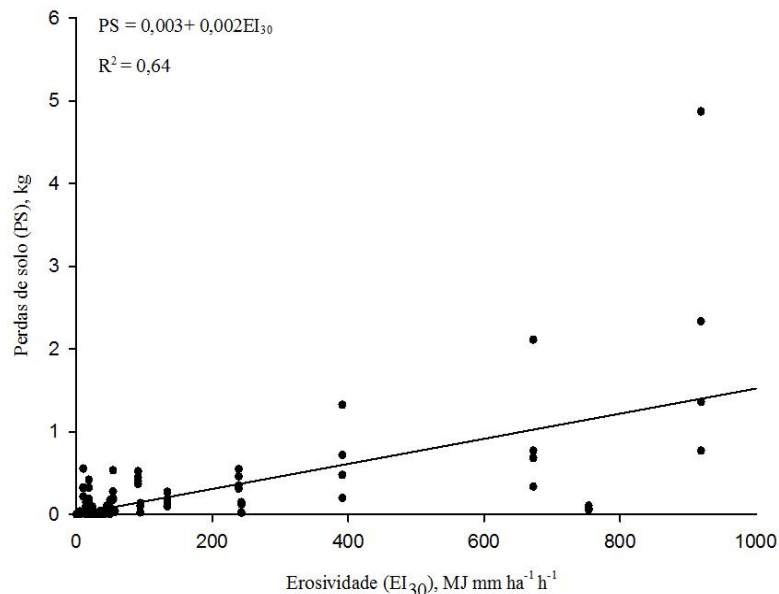


Fonte: Própria autora, 2017.

Isso ocorreu devido ao fato de que o solo apresenta um limite de infiltração e de armazenamento de água, de acordo com sua capacidade. Quando este limite é ultrapassado, a água escoar sobre o terreno e as diferenças entre tratamentos diminuem, independentemente do fator que determina tais tratamentos (BERTOL, 1994; SCHICK et al, 2000; GUADAGNIN et al., 2005). Além disso, percebe-se que em alguns casos ocorreram elevadas perdas de água com alturas de chuva relativamente baixas, como é possível observar na figura 12 pela dispersão dos pontos. Isto se explica principalmente porque essas chuvas ocorreram sobre o solo já úmido por chuvas anteriores, de acordo com o que verificaram Oliveira et al. (2015).

A relação entre as PS e o fator de erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas, considerando os valores individuais de cada uma dessas variáveis, na média dos tratamentos, está apresentada na Figura 13. Observa-se que houve um aumento nas PS com o aumento do  $EI_{30}$ . Entretanto, ocorreu maior dispersão dos pontos nesta figura quando comparada aos pontos da Figura 12. Este fato era em parte esperado, devido às variações existentes no padrão de precipitação, no intervalo de ocorrência entre as chuvas (CARVALHO et al., 2009) e também no teor de água do solo antecedente à ocorrência de cada uma das chuvas erosivas. Possivelmente, a umidade do solo esteve alta por um período de tempo mais longo, favorecendo a ação das chuvas erosivas que, mesmo sendo de baixa erosividade, produzirem altas perdas de solo do que chuvas de alta erosividade que produzirem baixas perdas de solo pelo fato de precipitarem sobre solo mais seco (BERTOL et al., 2002).

**Figura 13:** Relação entre as perdas de solo (PS) (média das repetições) e erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas, considerando os dados individuais de cada evento.

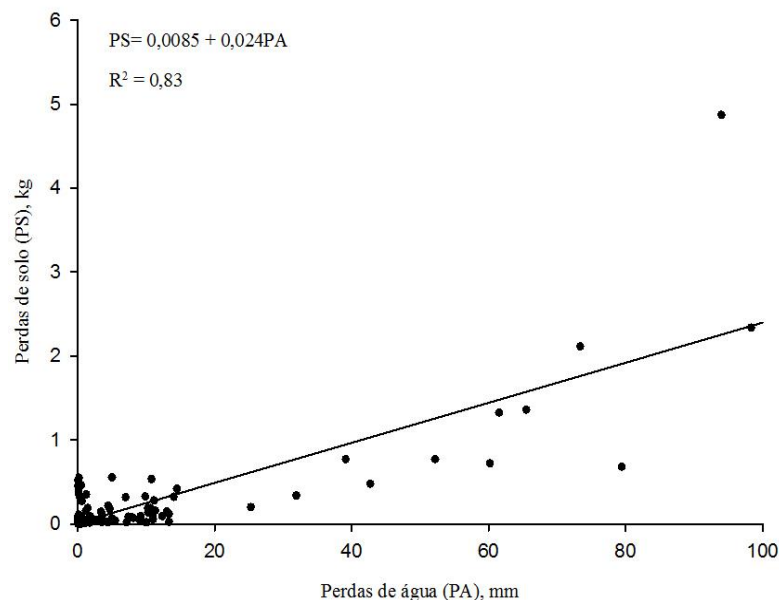


Fonte: Própria autora, 2017.

O valor do coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,64$ ), encontrado por meio da correlação linear entre os valores de PS e os de  $EI_{30}$ , foi semelhante ao valor obtido por Schick et al. (2014a) ( $R^2 = 0,655$ ) e menor do que os valores encontrados por Bertol & Miquelluti (1993) ( $R^2 = 0,697$ ), Schick (1999) ( $R^2 = 0,687$ ) e Bertol et al. (2002) ( $R^2 = 0,687$ ), sendo os quatro trabalhos também obtidos nesse mesmo solo em local próximo ao desta pesquisa. Entretanto, o valor de coeficiente de correlação encontrado nesta pesquisa ficou dentro do intervalo de valores normalmente encontrados em outras regiões do Brasil, cujo valor de  $R^2$  têm variado de 0,57 a 0,81 (BERTOL et al., 2002).

Na figura 14 está apresentada a relação entre os valores de PS e os de PA, mostrando que as PS aumentaram com o aumento das PA. Isto ocorreu principalmente porque em áreas com longos comprimentos de declive o escoamento superficial aumenta o volume e a energia cinética, aumentando também a desagregação e transporte de solo por erosão hídrica (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012; SCHICK, 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

**Figura 14:** Relação entre as perdas de solo (PS) e as perdas de água (PA), considerando os dados coletados em cada tratamento e em cada chuva erosiva (média das repetições).



Fonte: Própria autora, 2017.

Na relação das PS com o  $EI_{30}$ , o valor de  $R^2$  (0,64) foi menor do que o valor verificado na relação das PS com as PA (0,83). Isto se justifica pelo fato de que em condições de sistema de SD, o impacto das gotas de chuva foi totalmente controlado pela cobertura do solo e, por isso, a relação PS x  $EI_{30}$  é baixa. Mas, quando se relacionam PS x PA a relação melhora (o  $R^2$

é maior) porque na SD o que comanda as PS é o escoamento superficial em detrimento do impacto de gotas das chuvas.

Em geral, seguiram a mesma tendência das perdas de solo (Tabela 5), porém as reduções foram menores do que aquelas observadas nas perdas de solo, o que também foi verificado por Schick et al. (2000), Amaral et al. (2008), Ramos (2013) e Schick (2014), devido ao fato de que o solo apresenta um limite de infiltração de água, de acordo com sua capacidade e a partir deste limite, a água é igualmente perdida por escoamento superficial, independentemente das demais condições (KOHNE, 1968).

Schick (2014) também avaliou a relação entre PS e PA e encontrou o coeficiente de correlação igual a 0,79 em condição de SD, valor este inferior ao encontrado nesta pesquisa. O autor verificou que é necessário adotar práticas conservacionistas de suporte como o terraceamento agrícola, por exemplo, para disciplinar o movimento das águas de escoamento superficial ou enxurrada na superfície do solo e minimizar a erosão hídrica, especialmente quando ocorrem chuvas críticas quanto ao potencial de geração de escoamento superficial.

## 8 CONCLUSÕES

1. A erosão hídrica aumenta com o aumento do comprimento de declive em área cultivada em semeadura direta, no intervalo entre 11 m e 44 m, estabelecendo uma relação potencial entre as variáveis.
2. As perdas de solo diminuem do primeiro cultivo logo após a implantação da semeadura direta e deste para o segundo e terceiro cultivo.
3. As perdas de solo relacionam-se linear e positivamente com a erosividade das chuvas e com as perdas de água.
4. As perdas de água relacionam-se com o comprimento de declive e com a altura de chuva em condição de cultivo do solo na forma de semeadura direta.
5. As perdas de solo variam menos do que as perdas de água, tanto entre os comprimentos de declive, quanto, entre os cultivos.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTS, E. E.; MOLDENHAUER, N. C.; FOSTER, G. R. Soil aggregates and primary particles transported in rill and interrill-flow. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p.590-595, 1980.
- ALMEIDA, K. C. de. **Comportamento de cultivares de feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) em três safras no município de Guarapuava-PR**. Guarapuava, UNICENTRO, 2016. 54 p. (Dissertação de mestrado).
- AMARAL, A. J.; COGO, N. P.; BERTOL, I. Comprimento crítico de declive e erosão hídrica, em três doses de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.13, n.2, 2014.
- AMARAL, A.J. **Erosão hídrica e limites críticos de comprimento de declive para seu efetivo controle, em diferentes tipos e doses de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. 144p. (Tese de Doutorado)
- AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um cambissolo húmico da região do planalto sul-catarinense. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.
- ASSISTAT 7.7 beta. **Assistência Estatística**. Responsável Dr. Francisco de Assis Santos e Silva . DEAG-CTRN-UFMG, Campina Grande –PB, Brasil, Registro INPI 0004051-2. Disponível em :<<http://assistat.com/indexp.html>>. Acesso em 14 dez 2015.
- BAGARELLO, V. & FERRO, V. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. **Biosyst Eng**. 105:411-22. DOI: 10.1016/j.biosystemseng. 2010.
- BAGIO, B. **Erosão hídrica em diferentes comprimentos de declive em solo descoberto**. Lages, UDESC, 2016. 87 p. (Dissertação de mestrado).
- BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; WERNER, R. S.; RAMOS, J. C.& RAMOS, R. R. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1279-1290, 2012.
- 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).
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; VICENTIN, D.; COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.455-464, 2002.

- BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24. p. 657-668, 2000.
- BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 409-418, 1997.
- BERTOL, I. 1995. **Comprimento Crítico de Declive para Preparos Conservacionistas de Solo**. Faculdade de Agronomia, UFRGS, RS, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981-1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 9, p. 1453-1458, 1994.
- BERTOL, I. & MIQUELLUTI, D.J. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p. 1205-1213, 1993.
- BERTONI, J. O. Espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, SP, 18: 113-140, 1959.
- BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomo**. Campinas, 1972. 56p. (Circular, 20)
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, ed. 5, 355 p, 2005.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, ed.8, 355 p, 2012.
- CABEDA, M.S.V. **Computations of storms EI values**. West Lafayette, Purdue University, 6p. (Não Publicado), 1976.
- CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.3-9, 2009.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declividade e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.743-753, 2003.
- COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette: Purdue University, 346p. (Tese de Doutorado), 1981.
- COGO, N.P. 1978. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas por erosão em condições de chuva natural. I - sugestões gerais, medição de volume, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. (Primeira aproximação). **In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO**. 2., Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, P.75, 1978.



- CALONEGO, J. C. & ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1399-1407, 2008.
- DECHEN, S. C. F., TELLES, T. S., DE FÁTIMA GUIMARÃES, M.; DE MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v.74, n.2, p.224-233, 2015.
- ELLISON, W.D. 1947. **Soil erosion studies**. Agricultural Engineering, St. Joseph, 28:145-201, 1947.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FORSYTHE, W. 1975. **Física de solos**: manual de laboratorio. University Press. Ithaca, New York, 1975, 324 p.
- FOSTER, G.R. 1982. Modeling the erosion process. **In**: Hydrological Modeling of Small Watersheds. American Society Engineering, St. Joseph, Chapter 8, p.297-300, 1982.
- 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.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura desolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I., CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. D. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.2, p.277-286, 2005.
- HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press. New York. 392p. 1995.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. **In**: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society Agronomy, p.499-510. 1965.
- KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.
- LAL, R. Effects of slope length on runoff from Alfisols in Western Nigeria. **Geoderma** v.31, p.185- 193. 1983.
- LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p.689-699, 2009.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.193-197, 1987.

MEYER, L. D., FOSTER, G. R., NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. **Trans. Of the Am. Soc. Agric. Eng.**, v. 18, n. 5, p. 905-911, 1975.

MORAIS, L.F.B. **Comprimentos críticos de declive para diferentes manejos de resíduos culturais no sistema plantio direto em um solo Podzólico da Depressão Central-RS**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 162p. (Tese de Doutorado)

OLIVEIRA, L. C. DE.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; CAMPOS, M. L.; MECABÔ JUNIOR, J. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica em uma estrada florestal na serra catarinense. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 655-665, 2015.

PANACHUKI, E., BERTOL, I., ALVES SOBRINHO, T., OLIVEIRA, P. T. S. D.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011.

RAMOS, J. C.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; JULIANA MARIOTI, J.; WERNER, R. S. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um Cambissolo Húmico **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1587-1600, 2014.

RAMOS, J. C. **Erosão hídrica influenciada pelo cultivo, cobertura do solo por resíduos culturais e rugosidade superficial, em um Cambissolo Húmico**. Lages, UDESC, 2013. 84p. (Dissertação de mestrado)

SANTOS, A. C. dos.; SALCEDO, I. H.; GALVÃO, S. R. S. Relações entre uso do solo, relevo e fertilidade do solo em escala de microbacia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.5, p.498–504, 2008.

SCHICK, J. **Erosão hídrica em Cambissolo Húmico álico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999. 114p. (Dissertação de Mestrado)

SCHICK, J. **Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um Cambissolo Húmico em Lages, SC**. – Lages, 2014. (Tese de Doutorado), 149p, 2014.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N.P. & PAZ GONZÁLEZ, A. Erosividade das chuvas de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1890-1905, 2014a.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; PAZ GONZÁLEZ, A.. Erodibilidade de um cambissolo húmico sob chuva natural. **Revista brasileira de ciencia do solo**. Viçosa. v. 38, n. 6, p. 1906-1917, 2014b.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.427-436, 2000.

SILVA, R.L. & DE MARIA, I.C. Erosão em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 554-561, 2011.

SILVA, R.L. **Erosão do solo em sistema plantio direto: influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura**. Campinas, 83p. 2010. (Dissertação de mestrado)

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. 1985. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, (**Boletim Técnico**), n.5, 94p,1985.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Trans. Am. Geophys. 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).

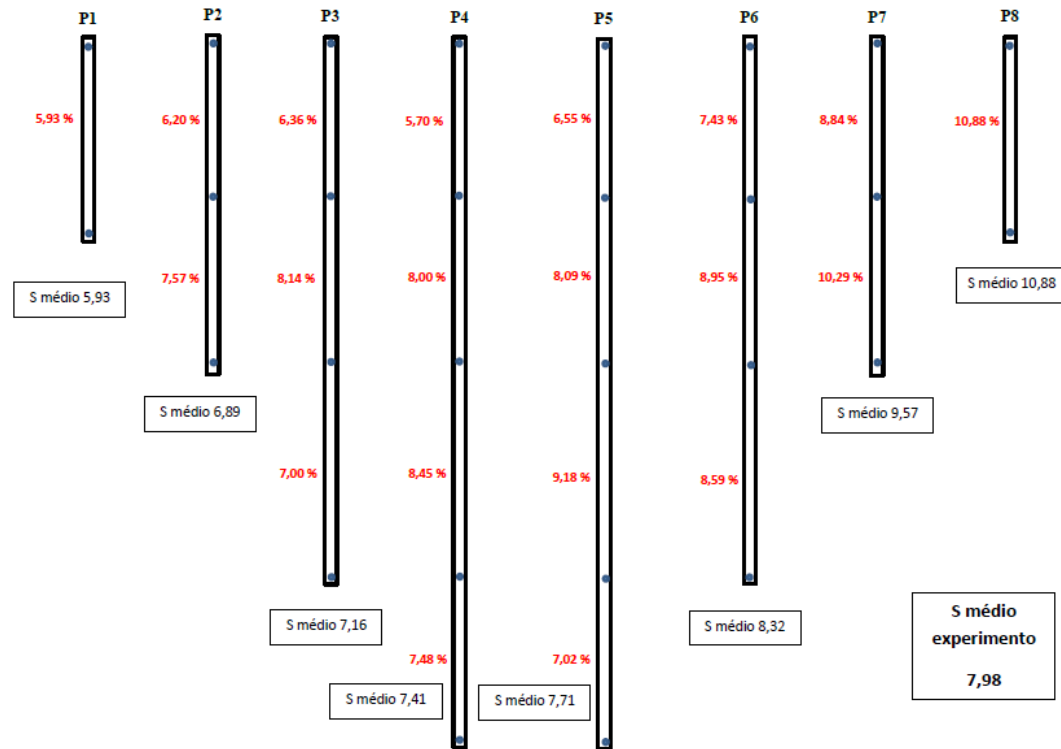
WREGGE, M.S. et al. (Editores técnicos) **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, v.1, 332 p. 2011.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agricultural Engineering**, v.21, p.59– 64. 1940.

## ANEXO

**Anexo 1.** Croqui da declividade do terreno em cada uma das parcelas do experimento.



Fonte: Bagio (2016).