

**ROMEU DE SOUZA WERNER**

**ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS, DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DE  
EROSÃO HÍDRICA, EM DISTINTAS CONDIÇÕES DE MANEJO DE UM  
CAMBISSOLO HÚMICO E DE PADRÕES CLIMÁTICOS PARA LAGES (SC)**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do  
título de Doutor no Curso de Pós-graduação em Ciência do  
Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Ildegardis Bertol

**LAGES  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Werner, Romeu de Souza

Análise de chuvas intensas, de escoamento  
superficial e de erosão hídrica, em distintas  
condições de manejo de um Cambissolo húmico e de  
padrões climáticos para Lages (SC) / Romeu de Souza  
Werner. - Lages , 2018.  
131 p.

Orientador: Ildegardis Bertol

Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,  
2018.

1. Equação intensidade-duração-frequência. 2.  
Erosão hídrica. 3. Influências climáticas. I.  
Bertol, Ildegardis. II. Universidade do Estado de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação. III.  
Título.

**ROMEU DE SOUZA WERNER**

**ANÁLISE DE CHUVAS INTENSAS, DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DE EROÇÃO HÍDRICA, EM DISTINTAS CONDIÇÕES DE MANEJO DE UM CAMBISSOLO HÚMICO E DE PADRÕES CLIMÁTICOS PARA LAGES (SC)**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC.

**Banca Examinadora:**

Orientador:

---

Professor Dr. Ildegardis Bertol  
Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC

Membro:

---

Professor Dr. Letícia Sequinatto  
Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC

Membro:

---

Professor Dr. Célio Orli Cardoso  
Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC

Membro:

---

Professor Dr. Jefferson Schick  
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

Membro:

---

Professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa  
Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG

Lages, 30 de julho de 2018



A todos que acreditam no poder do conhecimento,  
como veículo para a evolução mental e espiritual,  
DEDICO.

À minha família, por depositarem em mim, amor  
e cumplicidade – fonte da motivação que me põe a  
seguir, OFEREÇO.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, em quem deposito minha fé, buscando as forças necessárias para seguir e vencer as dificuldades.

À minha família, em especial aos meus pais, Sebastião e Vera, que continuam a me ensinar os valores da vida.

Ao professor Dr. Ildegardis Bertol, um agradecimento especial, por conceder os dados, produtos de mérito da sua vida profissional como pesquisador de excelência, sem os quais esta pesquisa jamais se concretizaria.

Ao professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa, pela orientação inicial neste projeto de pesquisa.

Ao professor Dr. Jeferson Schick, por todo o trabalho inicial de revisão e tabulação dos dados, provenientes do experimento durante o período 1989 a 2012.

A todos os professores da Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelas informações adquiridas e convívio durante o curso.

Aos meus colegas de trabalho, pelo auxílio, amizade e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos professores membros da banca examinadora pelas contribuições e ensinamentos.

À instituição, CAV/UDESC, pelo ensino gratuito e de qualidade.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPq pelos recursos financeiros que permitiram a geração dos dados.

À todas as pessoas que contribuíram para a concretização deste trabalho.

A todos, minha gratidão!





“Tudo que acontecer à terra, acontecerá aos filhos da terra. Se os homens cospem no solo, estão cuspiendo em si mesmos. A terra não pertence ao homem; o homem pertence à terra”

Seattle, 1854



## RESUMO

WERNER, R. S. **Análise de chuvas intensas, de escoamento superficial e de erosão hídrica, em distintas condições de manejo de um Cambissolo húmico e de padrões climáticos para Lages (SC)**. 2018. 131 p. Tese (Doutorado)–Universidade do Estado de Santa Catarina, Doutorado em Ciência do Solo, Lages, 2018.

A erosão hídrica pluvial do solo é produto da interação entre as características da chuva, do solo, do relevo, da cobertura e manejo do solo e das práticas conservacionistas. Assim, o conhecimento das características da chuva é fundamental para o planejamento conservacionista de solo. Com este trabalho objetivou-se obter as constantes da equação das chuvas intensas, estudar as perdas de solo e água em diferentes tipos de manejo de um Cambissolo Húmico, calcular o coeficiente de escoamento identificando seu valor máximo, determinar o tempo de retorno das variáveis estudadas e verificar a influência do fenômeno “El Niño” sobre as variáveis, com base numa série de 25 anos de dados provenientes de um experimento situado em Lages, SC, em condição de chuva natural. As perdas de solo e água e o coeficiente de escoamento, foram obtidos para os períodos de 1989-1991 e 1993-2014 (25 anos), totalizando 1.014 dados. Os dados de chuva compreenderam o período de 1989 a 2016 (28 anos). Os tratamentos estudados foram semeadura direta (SD); preparo reduzido com uma escarificação e uma gradagem (PR); preparo convencional com uma aração e duas gradagens (PC); e solo sem cultivo e sem cobertura, com uma aração e duas gradagens (SC). A distribuição de frequência da intensidade das chuvas ajustou-se à frequência observada, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ), confirmando a confiabilidade de distribuição probabilística dos dados, os quais foram utilizados na obtenção das equações intensidade-duração-frequência (I-D-F), resultando nas seguintes notações:  $i=1.285,65 \times Tr^{0,133} \times (t+14,15)^{-0,865}$  para a equação I para tempo de duração de chuvas de até 240 minutos; e  $i=1.500,42 \times Tr^{0,189} \times (t+42,10)^{-0,820}$  para a equação II para duração de chuvas entre 240 a 1440 minutos. As equações I e II ajustaram-se aos dados de chuva concluindo-se que podem ser empregadas na predição de eventos de precipitação para Lages, SC, no tempo de retorno de 2 a 50 anos. O coeficiente médio de escoamento na SD, PR, PC e SC foi respectivamente de 0,05; 0,08; 0,14 e 0,25. As perdas anuais máximas de água (PA) e de solo (PS) foram menores na SD do que no PR e, neste, menores do que no PC, com valores respectivamente de 4492, 5517 e 7547 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para as PA e respectivamente de 6,6; 7,9 e 31,0 Mg ha<sup>-1</sup> para as PS, para o tempo de retorno de 25 anos, enquanto o valor máximo do coeficiente de escoamento foi 0,76; 0,95; 0,95 e 0,98, respectivamente para SD, PR, PC e SC, para o mesmo período. O fenômeno El Niño fez aumentar a intensidade e a altura das chuvas e, com isso, as PA e PS; os valores foram 47, 55, 85 e 65% maiores do que no período neutro para as PA, enquanto, para as PS os valores foram 116, 93, 216 e 38% maiores, respectivamente nos tratamentos SD, PR, PC e SC. A maior altura e intensidade das chuvas no El Niño resultou em índice de erosividade (EI<sub>30</sub>) 44% maior do que no período Neutro, com coeficiente de escoamento 25, 43, 80 e 43% maior respectivamente na SD, PR, PC e SC.

**Palavras-chave:** Equação intensidade-duração-frequência. Erosão hídrica. Influências climáticas.



## ABSTRACT

WERNER, R. S. **Analysis of intense rainfall, surface runoff and water erosion, in different conditions the management of a humic Cambisol and climate patterns for Lages (SC)**. 2018. 131 p. Tese (Doutorado)–Universidade do Estado de Santa Catarina, Doutorado em Ciência do Solo, Lages, 2018.

Soil rainfall erosion is a product of the interaction between the rainfall, soil, relief, soil cover and management, and conservation practices. Thus, the knowledge of rainfall characteristics is fundamental for soil conservation planning. The objective of this work was to obtain the constant of the intense rainfall equation; to study soil and water losses in different types of humic Cambisol management, to calculate the coefficient of runoff identifying its maximum value; to determine the time of return of the studied variables and to verify the influence of the "El Niño" phenomenon on the variables, based on a series of 25 years of data from the experiment located in Lages, SC, in the condition of natural rainfall. Soil and water loss and runoff coefficient were obtained using a data series from the period 1989-1991 and 1993-2014, totaling 25 years with 1014 data. The rainfall data comprised the period from 1989 to 2016, totaling 28 years. The treatments studied were direct sowing (SD); reduced preparation with chiseling and disking (PR); conventional tillage with a plowing and two disking (PC); and uncultivated and uncovered soil, with a plowing and two disking (SC). The frequency distribution of the rainfall intensity, adjusted to the observed frequency by means of the Kolmogorov-Smirnov test ( $p < 0.05$ ), confirming the reliability of probabilistic distribution of the data, which were used to obtain the intensity-duration-frequency equations (IDF), resulting in the following notations:  $i = 1,285.65 \times Tr^{0.133} \times (t + 14,15)^{-0.865}$  for equation I for rainfall duration time up to 240 minutes; and  $i = 1,500.42 \times Tr^{0.189} \times (t + 42,10)^{-0.820}$  for equation II for rainfall duration between 240 and 1440 minutes. The equations I and II were fitted to the rainfall concluded that they can be used to predict precipitation events for Lages, for the return time from 2 to 50 years. The mean runoff coefficient was in SD, PR, PC and SC, with values of 0.05; 0.08; 0.14 and 0.25 respectively. The maximum annual water (PA) and soil losses (PS) were lower in the SD than in the PR and in this, smaller than in the PC, with respectively values 4492, 5517 and 7547 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> for the water losses, respectively, of 6.6; 7.9 and 31.0 Mg ha<sup>-1</sup> for the soil loss, for the time of return of 25 years, while the maximum value of the runoff coefficient was 0.76; 0.95; 0.95 and 0.98, respectively for SD, PR, PC and SC, for the same period. The maximum value of the runoff coefficient was 0.76; 0.95; 0.95 and 0.98, respectively for SD, PR, PC and SC, for a 25-year return period probability. The El Niño phenomenon increased the intensity and height of the rains and, with this, increased the water and soil losses; the values were 47, 55, 85 and 65% higher than in the neutral period for the PA, where as for the soil losses the values were 116, 93, 216 and 38% higher, respectively in the SD, PR, PC and SC treatments. The highest height and intensity of rainfall in the El Niño resulted in an erosivity index (EI<sub>30</sub>) 44% higher than in the Neutral period, with runoff coefficient 25, 43, 80 and 43% higher respectively in SD, PR, PC and SC.

**Key words:** Intensity-duration-frequency equation. Water erosion. Climatic influences.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Figura 1.i: pluviômetro; Figura 1.ii: pluviógrafo localizado nas dependências da Estação Meteorológica do CAV/UEDESC. ....	34
Figura 2 -	Análise de dupla massa dos dados de chuva acumulada, para a série histórica dos dados. ....	40
Figura 3 -	Frequência dos valores máximos de chuva anual estimada e observada. ....	41
Figura 4 -	Alturas máximas de chuva em função do tempo de retorno, calculadas pela distribuição estatística de Gumbel. ....	43
Figura 5 -	Valores de intensidade de chuva calculada em relação à intensidade observada, linha de tendência e o valor de $R^2$ para tempos de duração de até 240 minutos. ....	46
Figura 6 -	Curvas de intensidade-duração-frequência das chuvas máximas para tempos de duração de até 240 minutos, traçadas de acordo com a Equação I, para Lages, SC. ....	47
Figura 7 -	Valores de intensidade de chuva calculada em relação à intensidade observada, linha de tendência e o valor de $R^2$ para tempos de duração de 240 a 1440 minutos. ....	49
Figura 8 -	Valores de intensidade de chuva em função do tempo de duração (240 a 1440 minutos) obtidas pela Equação II, para diferentes tempos de retorno, para Lages, SC. ....	50
Figura 9 -	Figura 9.i: vista em perspectiva da área experimental; Figura 9.ii: registro do momento de quantificação do volume de escoamento e coleta de amostras. ....	65
Figura 10 -	Coeficientes de escoamento (C) calculados para os quatro tratamentos, para o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos). ....	69
Figura 11 -	Valores médios do coeficiente de escoamento (C) para os meses do ano, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo A. ....	70
Figura 12 -	Valores máximos anuais do coeficiente de escoamento (C), para os quatro tratamentos, observados no período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos). ....	71
Figura 13 -	Valores máximos de coeficiente de escoamento para os quatro tratamentos. ....	72
Figura 14 -	Valores máximos do coeficiente de escoamento (C) para cada mês, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo C. ....	73
Figura 15 -	Valores médios do coeficiente de escoamento (C) de cada cultivo para os quatro tratamentos, de acordo com o Anexo D. ....	74

Figura 16 - Valores máximos do coeficiente de escoamento (C) para cada tipo de cultivo, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo E. ....	75
Figura 17 - Perdas anuais de água em relação ao tempo de retorno, para os quatro tratamentos. ....	76
Figura 18 - Perdas anuais de solo (PS) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os quatro tratamentos. ....	78
Figura 19 - Perdas de solo (PS) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os tratamentos de semeadura direta (SD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional do solo (PC). ....	79
Figura 20 - Coeficiente de escoamento (C) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os quatro tratamentos. ....	80
Figura 21 - Fases do Fenômeno ENOS. El Niño (esquerda)/fase quente (vermelho); La Niña (direita)/fase fria (azul). ....	84
Figura 22 - Registro pluviográfico (pluviograma) característico de uma precipitação hídrica pluvial intensa. ....	87
Figura 23 - Chuva total anual e valor médio, registrado durante o período de 1989 a 2016 (28 anos). ....	88
Figura 24 - Estatística tipo "box plot" do índice de erosividade (EI <sub>30</sub> ), calculado para períodos Neutro, La Niña e El Niño. ....	90
Figura 25 - Valores médios mensais do índice de erosividade EI <sub>30</sub> , para os meses do ano, separados de acordo com o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	91
Figura 26 - Valores médios mensais das perdas de água (PA), separados por períodos de La Niña, El Niño e Neutro para os quatro tratamentos. SD: Semeadura direta; PR: Preparo reduzido; PC: Preparo convencional; SC: Solo sem cultivo e sem cobertura. ....	93
Figura 27 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	94
Figura 28 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) tratamento de preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	95
Figura 29 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento de preparo convencional do solo (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	96
Figura 30 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento de solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ...	97



Figura 31 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS), separados por períodos de La Niña, El Niño e Neutro para os quatro tratamentos. SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura. ....	100
Figura 32 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	101
Figura 33 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.....	102
Figura 34 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento de preparo convencional (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	103
Figura 35 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	103
Figura 36 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C), separados por períodos Neutro, La Niña e El Niño, para os quatro tratamentos. SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura. ....	106
Figura 37 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.....	106
Figura 38 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	107
Figura 39 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento preparo convencional (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	108
Figura 40 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño. ....	108



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Coeficientes de desagregação da chuva de 1 (um) dia, utilizados no cálculo para a obtenção da Equação II.....	39
Tabela 2 -	Resultados dos testes não-paramétricos aplicados ao conjunto de dados da série histórica (1989 - 2016). .....	39
Tabela 3 -	Valores do índice de exatidão ou concordância (d) de Willmott, coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho, (C), obtidos no cálculo de avaliação da distribuição de Gumbel.....	42
Tabela 4 -	Altura máxima calculada para os tempos de retorno.....	43
Tabela 5 -	Valores de intensidade máxima de chuva observada ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para diferentes tempos de duração (5 a 240 minutos) no período de 1989 a 2016.....	44
Tabela 6 -	Estimativa da intensidade de chuva média máxima ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para a Equação I, pela distribuição de Gumbel, para diferentes tempos de duração e tempos de retorno.....	45
Tabela 7 -	Parâmetros de ajuste e equação intensidade-duração-frequência (IDF) para a Equação I, a ser utilizada na predição da intensidade de chuva para tempos de duração ( $t_d$ ) inferiores a 240 minutos, para Lages, SC.....	47
Tabela 8 -	Estimativa de chuva de precipitação média máxima ( $\text{mm h}^{-1}$ ) obtida Equação II, pela distribuição de Gumbel para diferentes tempos de duração e tempo de retorno.....	48
Tabela 9 -	Parâmetros de ajuste e equação intensidade-duração-frequência (IDF) para a Equação II, a ser utilizada na predição da intensidade de chuvas para tempos de duração ( $t_d$ ) superiores a 240 e inferiores a 1440 minutos, para Lages, SC. ....	50
Tabela 10 -	Resultados dos testes estatísticos aplicados na avaliação de desempenho equação intensidade-duração-frequência (IDF). .....	52
Tabela 11 -	Valores do coeficiente de escoamento, de acordo com vários tipos de cobertura da superfície do solo, declividade e tempos de retorno.....	57
Tabela 12 -	Estatística descritiva do coeficiente de escoamento, calculado para os quatro tratamentos para o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos). .....	67
Tabela 13 -	Índices mensais de oscilação de temperatura das águas do Oceano Pacífico entre 1988 e 2017.....	85
Tabela 14 -	Estatística descritiva das alturas de chuva, separados por períodos climáticos.	88

Tabela 15 - Estatística descritiva dos valores mensais do índice erosividade ( $EI_{30}$ ) expressos $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mês^{-1}$ , separados por período Neutro, La Niña e El Niño. ....	89
Tabela 16 - Estatística descritiva dos dados mensais de perdas de água para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño. ....	92
Tabela 17 - Estatística descritiva dos dados mensais perdas de solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño. ....	99
Tabela 18 - Estatística descritiva do coeficiente de escoamento para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño. ....	105

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABR.	Abril
AGO.	Agosto
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages
C	Coefficiente de escoamento superficial
$C_{(d,r)}$	Coefficiente de desempenho
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cfb	Clima subtropical úmido mesotérmico com verões amenos
D	Duração do evento de precipitação hídrica pluvial
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo
DEZ.	Dezembro
EN	El Niño
$EI_{30}$	Índice de erosividade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
F	Frequência dos eventos de precipitação hídrica pluvial
FEV.	Fevereiro
I	Intensidade da precipitação hídrica pluvial
$I_{30}$	Intensidade máxima em trinta minutos
IDF	Intensidade-duração-frequência das precipitações
IOS	Índice de Oscilação Sul
JAN.	Janeiro
JUL.	Julho
JUN.	Junho
LN	La Niña
MAI.	Mai
MAR.	Março
$N$	Intervalo de tempo considerado no cálculo de risco
N	Neutro
NOV.	Novembro

NS	Coeficiente de Nash-Sutcliffe
OUT.	Outubro
<i>P</i>	Probabilidade de ocorrência teórica
PA	Perdas de água
PC	Preparo convencional
PR	Preparo reduzido
PS	Perdas de solo
PBIAS	Percentual de tendência
PVC	Policloreto de vinila
R	Fator de erosividade
RMSE	Proporção da raiz do erro médio quadrático
RSR	Desvio padrão dos dados medidos
S	Sul
SC	Solo sem cultivo e sem cobertura
SD	Semeadura direta
SC	Santa Catarina
SET.	Setembro
TCI	Taxa constante de infiltração
Tr	Tempo de retorno
TSM	Temperatura da água na superfície do mar
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USA	Estados Unidos da América
USLE	Equação Universal de Perda de Solo
W	Oeste

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
'	Minutos
<	Menor que
>	Maior que
°	Graus
Al	Alumínio
C	Carbono
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
E	Energia cinética
g	Gramas
h	Hora
ha	Hectare
K	Potássio
l	Litro
ln	Logaritmo natural
m	Metro
<i>Mg</i>	Magnésio
Mg	Mega grama
min	Minutos
MJ	Mega joule
mm	Milímetros
N	Nitrogênio
°C	Graus Celsius
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>ESTUDO I - EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA CHUVA</b> .....	<b>29</b>
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	29
2.1.1	<b>Precipitação hídrica pluvial na forma de chuva</b> .....	<b>29</b>
2.1.2	<b>Chuvas intensas</b> .....	<b>30</b>
2.2	HIPÓTESES.....	32
2.3	OBJETIVOS .....	33
2.3.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>33</b>
2.3.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>33</b>
2.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	33
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
2.5.1	<b>Análise inicial dos dados de chuva</b> .....	<b>39</b>
2.5.2	<b>Equação Intensidade-Duração-Frequência – Equação I</b> .....	<b>44</b>
2.5.3	<b>Equação Intensidade-Duração-Frequência - Equação II</b> .....	<b>48</b>
2.5.4	<b>Desempenho e capacidade das equações</b> .....	<b>51</b>
2.6	CONCLUSÕES .....	52
<b>3</b>	<b>ESTUDO II - ESCOAMENTO E EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADOS PELO MANEJO DO SOLO, E TEMPO DE RETORNO</b> .....	<b>55</b>
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	55
3.1.1	<b>Escoamento superficial</b> .....	<b>55</b>
3.1.1.1	<i>Coefficiente de escoamento</i> .....	56
3.1.2	<b>Manejo e erosão hídrica do solo</b> .....	<b>57</b>
3.1.3	<b>Tempo de retorno</b> .....	<b>61</b>
3.2	HIPÓTESES.....	61
3.3	OBJETIVOS .....	62
3.3.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>62</b>
3.3.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>62</b>
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	62
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
3.5.1	<b>Escoamento superficial e coeficiente de escoamento</b> .....	<b>66</b>
3.5.2	<b>Tempo de retorno</b> .....	<b>75</b>

3.6	CONCLUSÕES .....	81
<b>4</b>	<b>ESTUDO III - INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO CLIMÁTICA SOBRE AS CHUVAS, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO HÍDRICA .....</b>	<b>83</b>
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	83
4.2	HIPÓTESE.....	85
4.3	OBJETIVOS .....	86
<b>4.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>86</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Objetivo específico.....</b>	<b>86</b>
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	86
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
<b>4.5.1</b>	<b>Influências sobre a altura e o volume das chuvas .....</b>	<b>87</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Influência sobre as perdas de água por escoamento superficial .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Influência sobre as perdas de solo.....</b>	<b>97</b>
<b>4.5.4</b>	<b>Influência sobre o coeficiente de escoamento .....</b>	<b>104</b>
4.6	CONCLUSÕES .....	109
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>121</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ideia inicial a respeito dos recursos naturais, segundo a qual se interpretava e se classificava a água e o solo como bens renováveis, vem sendo contrariada. A maior consciência sobre a essencialidade destes dois bens à sobrevivência da vida na Terra, exige uma nova postura das atividades humanas baseada em novos critérios de utilização e manutenção da água e do solo. Tanto a água quanto o solo, podem ser afetados física, química e biologicamente, por meio das atividades antrópicas.

O solo é o recurso natural mais amplamente e intensamente usado na produção de alimentos, e, com uso e manejo inadequados, poderá ter sua capacidade produtiva comprometida. Segundo o relatório da FAO (2015), muitos sistemas produtivos enfrentam um risco iminente devido ao colapso da capacidade produtiva do solo, por efeito da combinação entre a crescente necessidade de maior produção de alimentos e/ou produção de outros bens e a prática insustentável da agricultura. Este mesmo relatório aponta que aproximadamente 33% dos solos agrícolas do Planeta estão com algum grau de degradação, principalmente em função da erosão.

De acordo com Hudson (1995), a erosão hídrica pluvial do solo, problemática que acomete principalmente as terras agrícolas, é produto da erosividade da chuva, da erodibilidade do solo, do relevo representado principalmente pelo grau do declive e comprimento de rampa, do uso da terra, cobertura, manejo do solo e das práticas conservacionistas de suporte. Frente a isso, evidencia-se o grande desafio enfrentado pela pesquisa, ao concentrar-se na determinação da influência que os fatores ambientais e antrópicos têm sobre a erosão e quais as possíveis consequências desta para o meio ambiente. E, nesta tarefa, é imprescindível caracterizar as chuvas intensas com o intento de solucionar problemas relacionados à erosão, e, mais especificamente, ao controle do escoamento superficial.

Através do emprego de técnicas e modelos hidrológicos, torna-se possível quantificar o escoamento superficial procedente de chuvas intensas e assim, elaborar projetos de obras hidráulicas visando a integridade do solo. A precipitação hídrica pluvial, agente ativo no processo erosivo, necessita ser discretizada quanto às suas grandezas de intensidade, duração e frequência, com o propósito de prever a ocorrência de eventos extremos e suas possíveis consequências.

O escoamento superficial nas áreas agrícolas, especialmente naquelas desprovidas de práticas conservacionistas, resulta em erosão do solo e em outros problemas como o

assoreamento e a contaminação das águas, além de decréscimo na produtividade das culturas. Frente a isso, torna-se imprescindível a adoção de sistemas de manejo que reduzam o escoamento superficial e, por conseguinte, amenizem as perdas de solo e água.

No sul do Brasil, as precipitações pluviométricas são intensificadas ou inibidas por meio da circulação geral da atmosfera, que por sua vez, sofre influência dos fenômenos climáticos, em especial o “El Niño” e a “La Niña”. Estas anomalias climáticas, que representam a principal perturbação da normal climatológica para esta região, interferem severamente nas atividades humanas. E, em virtude do incremento em relação à altura, à intensidade e à frequência dos eventos de precipitação, decorrentes da aparição dos fenômenos, avulta-se a preocupação com relação à erosão hídrica do solo, evidenciando-se a necessidade de maiores informações quanto à manifestação das anomalias e suas possíveis consequências.

Na esfera agrícola, percebe-se que o fator limitante e que restringe a ampla adoção de práticas conservacionistas, recai sobre a escassez de estudos na área de conservação, haja vista todo o empenho e dificuldades faceados por experimentos desta natureza, quanto à sua implantação e condução. Os resultados experimentais abordam temas como a perda de nutrientes, as relações de chuva-erosão e erosão-productividade, facilitando a compreensão do processo erosivo, além do fornecimento de resultados práticos para a aplicação de técnicas de controle. Atualmente no Brasil, a insuficiência de estudos relacionados à erosão hídrica, coíbe a implantação de programas de conservação de âmbito nacional que, em razão da carência de dados provenientes de condições experimentais, suprimem a aplicação dos modelos de predição e dificultam a implantação das práticas conservacionistas.

Com este estudo objetivou-se gerar dados que possam ser utilizados na preservação e conservação do solo e da água; para isso, foram determinadas as constantes da equação das chuvas intensas, calculado o coeficiente de escoamento, determinado o tempo de retorno das máximas perdas de solo, água e coeficiente de escoamento, e verificada a influência dos fenômenos climáticos nas variáveis estudadas, utilizando uma série histórica de dados provenientes de um experimento de longa duração sobre um Cambissolo Húmico, em condição de chuva natural, situado em Lages, Santa Catarina. Para a melhor compreensão de interatividade das variáveis e de entendimento dos dados obtidos, a presente tese foi segmentada em três estudos: estudo I, estudo II e estudo III, como segue.

## 2 ESTUDO I - EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DA CHUVA

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Precipitação hídrica pluvial na forma de chuva

A água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre é definida como precipitação, seja na forma de chuva, granizo, saraiva, neblina, orvalho, geada ou neve (TUCCI, 1993). Dentre estas formas, a chuva é a que tem maior relevância do ponto de vista conservacionista de solo e, desta forma, o conhecimento das suas características é fundamental na predição do escoamento superficial, na distribuição da água no solo e na erosão hídrica.

O potencial erosivo das chuvas é determinado pelo impacto das gotas associado ao cisalhamento da enxurrada, sobre o solo. Esse potencial erosivo representa a erosividade da chuva que, no caso da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), é definida pelo fator R (EI30) resultante do produto entre a energia cinética total (E) e a intensidade máxima em 30 minutos (I30) de chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD et al., 1997). O fator R é dependente do diâmetro, número e velocidade das gotas de chuva que determinam, em conjunto, a altura, a intensidade e a velocidade da chuva.

O conhecimento dos mecanismos de formação das gotas de chuva e dos processos que regulam a ocorrência das precipitações são de fundamental importância agrônômica, uma vez que, a erosão hídrica, quando o solo estiver descoberto, tem início com a desagregação das partículas pelo impacto das gotas sobre a superfície (ELLISON, 1947). Assim, as características fundamentais da chuva, duração, altura e intensidade, além de outras como o tempo de retorno, distribuição da intensidade no tempo e intervalo entre chuvas, são de total interesse em termos de previsão da enxurrada e de distribuição da água no solo (MELLO; SILVA, 2013).

O conhecimento da erosividade das chuvas e a sua distribuição temporal, permitem identificar quais são as épocas do ano com o maior potencial de risco de erosão hídrica, com isso, é possível tomar decisões sobre medidas a serem adotadas para o controle da erosão, e poderão ser planejadas práticas conservacionistas mais adequadas. Do ponto de vista científico, o conhecimento da erosividade das chuvas e sua distribuição temporal, permite identificar os efeitos conferidos pelos tipos de manejo na erosão hídrica pluvial do solo (COGO, 1988).

A altura, duração e intensidade, além da distribuição temporal e espacial, tempo de retorno e intervalo entre precipitações, são importantes características que definem os efeitos sobre a infiltração de água no solo e sobre o escoamento superficial e, como consequência,

sobre a erosão hídrica (MORIN et al.,1989 e TRUMAN et al.,2007). A partir de eventos de chuvas potencialmente erosivas, gera-se um volume de enxurrada crítico dependente dessas características, em cada evento.

A frequência de ocorrência de determinados eventos pluviométricos, chamados de intervalos de recorrência ou tempo de retorno, descrevem a forma de distribuição da intensidade em relação ao tempo de duração das precipitações. A probabilidade de ocorrência é especificada quantitativamente pelo tempo de retorno de uma chuva, sendo então, o período médio de tempo na qual a mesma é igualada ou superada em magnitude (VILLELA; MATTOS, 1975).

Os principais processos do ciclo hidrológico que devem ser considerados em estudos de planejamentos conservacionistas são a precipitação, na forma de chuva, a interceptação pela cobertura do solo, o armazenamento superficial, o escoamento superficial e a infiltração de água no solo. Considerando-se o dimensionamento de obras mecânicas de controle do escoamento superficial e da erosão hídrica pluvial do solo, o tempo de retorno e a distribuição da intensidade das chuvas no tempo, são características essenciais ao planejamento (TUCCI et al., 1993).

### **2.1.2 Chuvas intensas**

Para qualquer planejamento de obras hidráulicas para controle de escoamento superficial, rural ou urbano, é imprescindível dispor das informações referentes a variáveis climáticas, em especial, às chuvas intensas. A predição de eventos de chuva extrema se faz necessária, a partir da caracterização da variabilidade espacial e temporal dos eventos, utilizando-se princípios de probabilidade (MELLO; SILVA, 2013). O conjunto de informações referentes às máximas chuvas prováveis, permite quantificar adequadamente os efeitos dessas chuvas e, assim, dimensionar as obras hidráulicas necessárias, com respaldo probabilístico, podendo-se estabelecer formas e quantificar dimensões, baseado na magnitude das predições.

O tempo de retorno ( $Tr$ ) dos eventos climatológicos, representa o período de tempo médio, em anos, em que uma dada variável possa ser igualada ou superada, pelo menos uma vez, de forma independente. O  $Tr$  é estimado utilizando-se a probabilidade de ocorrência, após o ajuste da frequência dos dados extremos da série histórica à uma distribuição de probabilidades. Conjuntamente, de um modo geral, a frequência de valores extremos, para séries históricas de eventos de chuva, ajusta-se à distribuição do tipo I de “Fisher-Tippet”, conforme Villela e Mattos, (1975), sendo conhecida como distribuição de “Gumbel”.

Considerando-se que a frequência observada seja uma boa estimativa da probabilidade ( $P$ ) e definindo-se o tempo de retorno ( $Tr$ ) como sendo o período de tempo médio (ano) em que

um determinado evento possa ser igualado ou superado pelo menos uma vez, tem-se a seguinte relação:

$$Tr_{(ano)} = \frac{1}{F} \quad \text{ou} \quad Tr_{(ano)} = \frac{1}{P} \quad (1)$$

$$P = 1 - e^{-e^{-y}}, \quad \text{onde:} \quad (2)$$

$Tr$ : tempo de retorno (ano);

$F$ : frequência de ocorrência (-);

$P$ : probabilidade de ocorrência teórica (-);

$e$ : base do logaritmo neperiano (-);

$y$ : variável reduzida de Gumbel (-).

As chuvas intensas apresentam distinção quanto à intensidade (I), duração (D) e frequência (F) de ocorrência, as quais podem ser representadas por curvas denominadas intensidade-duração-frequência (curvas IDF). A obtenção dessas curvas requer a análise de séries longas de dados observados, por meio de testes que comprovem a qualidade dos mesmos, para que as estimativas sejam confiáveis. A inexistência de séries longas desses dados por conta da escassez de pontos de coleta e do curto período de tempo de observações normalmente disponíveis, dificulta o dimensionamento de obras hidráulicas (SILVA et al. 1999a e OLIVEIRA et al. 2005). Além da necessidade de séries históricas relativamente longas, o conjunto de dados tem caráter regional, circunstância essa que dificulta ainda mais o planejamento das obras hidráulicas.

A obtenção das curvas IDF, com base nos registros pluviométricos de chuva, decorre de duas principais metodologias. A primeira delas, a qual utiliza-se de registros de dados, consiste na desagregação de chuvas de 24h para eventos de menor duração, pelo emprego de coeficientes específicos para cada duração (CETESB, 1979). A segunda metodologia emprega registros pluviográficos de chuvas, com a identificação das maiores intensidades em cada tempo de duração. Para isso, vale-se das máximas intensidades para o ajuste das equações, levando em consideração a duração e o tempo de retorno.

O método de ajuste das equações, concebido por registros pluviográficos de chuvas, oferece maior confiabilidade dos resultados, pois, se tratam de lâminas de chuvas e respectivas durações, reais, para a localidade em estudo. No entanto, o ajuste desta modalidade de equação

apresenta algumas limitações para o traçado das curvas IDF, como segue: i) baixa disponibilidade de postos meteorológicos com pluviógrafos; ii) dificuldade de processamento dos dados contidos nos registros pluviográficos, devido ao grande volume de informações (MELLO; SILVA, 2013).

A intensidade máxima média da chuva, associada à duração e à frequência, é comumente expressa matematicamente de forma empírica, da seguinte forma:

$$I = \frac{C \cdot Tr^m}{(t_0 + t_d)^n}, \text{ onde:} \quad (3)$$

$I$ : intensidade média máxima de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$t_d$ : tempo de duração da chuva (minuto);

$Tr$ : tempo de retorno (ano);

$C, m, t_0$  e  $n$ : parâmetros de ajuste da equação a serem estimados.

A máxima intensidade média, observada em um evento de chuva, se comporta inversamente à amplitude de tempo em que ocorreu (TUCCI, 1993). Ao correlacionar apenas as intensidades com as durações das chuvas, para determinado tempo de retorno, verifica-se que, quanto maior a intensidade da chuva, menor será o tempo de duração, configurando uma curva genérica de comportamento hiperbólico.

Para que o ajuste dos parâmetros da equação geral de intensidade-duração-frequência seja satisfatório ao fornecimento de previsões fidedignas, é necessário avaliar o desempenho do modelo ajustado por meio do emprego de testes que avaliam a qualidade do ajuste. Os principais testes aplicados neste tipo de avaliação, utilizam-se de ferramentas estatísticas comparando os valores preditos aos valores observados. Com o resultado dos testes, ao preencher-se os requisitos mínimos de qualidade, preconizados pela metodologia, por fim, torna-se possível a utilização do modelo ajustado para proceder previsões de precipitações intensas.

## 2.2 HIPÓTESES

As hipóteses deste estudo são:



- a) a distribuição de frequência e de intensidade das chuvas de Lages, SC, estimada por Gumbel, ajusta-se aos dados observados, para determinados tempos de retorno e duração das chuvas;
- b) o modelo de equação das chuvas intensas do tipo  $i = a.Tr^b.(t+c)^{-d}$  se ajusta aos dados de chuva de Lages, SC, gerando valores representativos para as constantes empíricas do referido modelo com uma série de dados de um período de 28 anos.

## 2.3 OBJETIVOS

### 2.3.1 Objetivo Geral

Estudar a distribuição de frequência e determinar as constantes empíricas da equação das chuvas intensas para uma série de 28 anos de dados para Lages, SC.

### 2.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) estimar a distribuição de frequência e a intensidade das chuvas por meio de Gumbel, e ajustar os valores estimados aos dados observados, para períodos de retorno e duração das chuvas;
- b) determinar os valores para as constantes empíricas do modelo de equação das chuvas intensas do tipo  $i = a.Tr^b.(t+c)^{-d}$  e ajustar o modelo aos dados de chuva, para uma série de dados de um período de 28 anos.

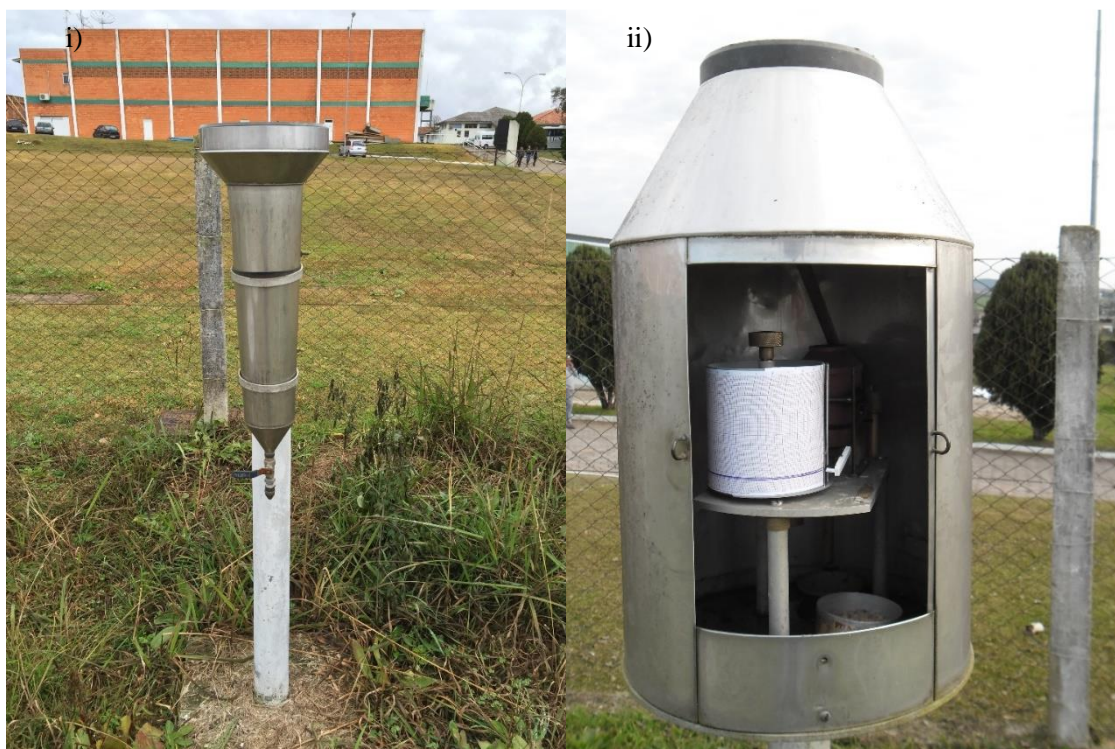
## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

Para a consecução deste estudo, foram utilizados os dados de chuva provenientes de equipamentos localizados nas dependências da Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV/UDESC – durante o período de 1989 a 2016, totalizando 28 anos de registros pluviográficos. A altura das chuvas foi obtida com o auxílio de um pluviômetro e o tempo de duração e a intensidade das precipitações foram obtidos a partir dos registros de um pluviógrafo (Figura 1).

Analisando o conjunto de dados da série histórica de chuvas, inicialmente, aplicou-se alguns testes não paramétricos, com o objetivo de identificar as condições de adequação dos

dados e a viabilidade de aplicação da distribuição de probabilidade. A aleatoriedade dos dados, testada com o intuito de identificar se a grandeza hidrológica é decorrente de causas naturais, foi verificada por meio da metodologia proposta por Mello e Silva (2013). O teste de aleatoriedade tem, como hipótese  $H_0$ , uma série histórica constituída por dados de origem aleatória.

Figura 1 - Figura 1.i: pluviômetro; Figura 1.ii: pluviógrafo localizado nas dependências da Estação Meteorológica do CAV/UEDESC.



Fonte: Figura i: Elaborado pelo autor, 2008; Figura ii: Armbrust, S, 2016.

O segundo teste não paramétrico, aplicado à série de dados de precipitação, foi o de estacionariedade, com o objetivo de identificar tendências temporais e ou, ciclos nítidos dentro do período de estudo. A hipótese  $H_0$  deste teste, conhecida como Teste de Spearman, considera que os dados são estacionários.

O terceiro teste, conhecido como análise de dupla massa, foi empregado com o intento de verificar a homogeneidade dos dados e, com isso, saber se os mesmos são, ou não, produto de anormalidades da estação pluviométrica. A metodologia utilizada para isso foi a desenvolvida pela Geological Survey (USA), a qual fundamentou-se na construção de uma curva dupla acumulativa, relacionando-se os totais anuais acumulados do posto meteorológico da Estação Experimental de Lages – EPAGRI, com os dados provenientes deste estudo. A

plotagem dos pontos em gráfico, por meio da relação entre as variáveis, deve apresentar tendência retilínea, sendo que, a declividade da reta é uma determinante de proporcionalidade entre as séries, ou seja, fica demonstrado, com isso, que os dados não são anômalos.

Após os testes iniciais, por meio dos quais se constatou a autenticidade dos dados, iniciou-se a concepção de duas equações intensidade-duração-frequência (IDF). A primeira delas, denominada “Equação I”, foi ajustada para predizer valores de intensidade média máxima de chuva para tempos de duração de até 240 minutos (4 h); e a segunda, denominada “Equação II”, foi ajustada para predizer valores de intensidade máxima média de chuva para tempos de duração entre 240 e 1.440 minutos (24 h).

A fase seguinte constituiu-se na aquisição dos dados, por meio da seleção dos pluviogramas que continham as maiores intensidades de precipitação para cada tempo de duração, observadas em cada ano da série histórica de dados. Após a seleção dos eventos extremos, identificou-se a altura máxima das chuvas precipitadas para as durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180 e 240 min, admitindo-se valores limites consoantes aos estabelecidos por Wilken (1978).

De posse dos valores máximos de intensidade e altura da chuva diária, construiu-se as séries anuais dos valores extremos, com os dados provenientes do programa computacional “Chuveros”, desenvolvido pelo professor Dr. Elemer Antonino Cassol do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), elaborado segundo metodologias de cálculo abordadas por Wischmeier e Smith (1978), Brown e Foster (1987) e Wagner e Massambani (1988). A partir das séries anuais, avaliou-se a aderência da série de dados à distribuição de Gumbel utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ). As chuvas máximas possíveis de serem igualadas e/ou superadas, foram calculadas para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 anos.

A análise da distribuição de frequência dos dados e as frequências observadas, foram obtidas empregando o método de Kimbal e as frequências teóricas por meio da distribuição de probabilidades de Gumbel, segundo as equações:

$$F_{obs} = \frac{m}{(N+1)} \quad (4)$$

$$P = 1 - e^{(-e)^{-y}}, \text{ onde:} \quad (5)$$

$F_{obs}$  : frequência observada;

$m$  : posição dos valores de intensidade das chuvas médias máximas, em ordem decrescente;

$N$ : número total de anos que compõe a série de dados;

$P$ : probabilidade de um valor extremo da série ser maior ou igual à magnitude de um determinado evento;

$Y$ : variável reduzida da distribuição de Gumbel.

Para obter o valor da variável reduzida ( $Y$ ) da distribuição de Gumbel, aplicou-se a função de distribuição de frequência de Chow, usando as equações a seguir:

$$Y_{(Tr)} = \frac{K_{(Tr)} + 0,45}{0,78} \quad (6)$$

$$K_{(Tr)} = \frac{X - \bar{X}}{S}, \text{ onde:} \quad (7)$$

$K_{(Tr)}$ : fator de frequência;

$X$ : evento extremo no decorrer da série histórica ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$\bar{X}$ : média dos valores extremos da série histórica ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$S$ : desvio padrão dos valores extremos.

Com o objetivo de se avaliar o desempenho do ajuste das frequências teóricas, estimadas pela distribuição de Gumbel às frequências observadas, utilizou-se o coeficiente de desempenho ( $C_{(d,r)}$ ), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), obtido pela razão entre o produto do índice de Willmott ( $d$ ) e o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), de acordo com as seguintes equações:

$$C_{(d,r)} = d \cdot r \quad (8)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum (F_{obs} - P)^2}{\sum (|P - \bar{F}_{obs}| + |F_{obs} - \bar{F}_{obs}|)^2} \right] \quad (9)$$

$$r = \sqrt{\frac{\sum (P - \bar{F}_{obs})^2}{\sum (F_{obs} - \bar{F}_{obs})^2}}, \text{ onde:} \quad (10)$$

$\bar{F}_{obs}$  : média das frequências observadas;

$F_{obs}$  : frequência observada;

$P$ : probabilidade.

Para a estimativa da variável hidrológica,  $x_{(Tr)}$ - Gumbel ( $\text{mm h}^{-1}$ ) em função do tempo de retorno ( $Tr$ ), aplicou-se a seguinte equação:

$$x_{Tr} = \frac{-LN\left(-LN\left(1-\frac{1}{Tr}\right)\right)}{\alpha} + \mu \quad (11)$$

Por meio do método dos momentos e com as estimativas amostrais,  $\bar{x}$  (média aritmética) e  $s$  (desvio padrão), calculou-se os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$ ;

$$\alpha = \frac{1,2826}{s} \quad (12)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45 \cdot s \quad (13)$$

$\alpha$ : parâmetro de escala;

$\mu$ : parâmetro de localização.

Na determinação dos parâmetros da Equação I, para o tempo de duração da chuva ( $t_d$ ) de até 240 minutos, apresentada de forma empírica pelo modelo matemático a seguir:

$$i = \frac{c \cdot Tr^m}{(t_0 + t_d)^n}, \text{ onde:} \quad (14)$$

$i$ : intensidade máxima média de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$t_d$ : tempo de duração do evento (minuto);

$Tr$ : tempo de retorno (ano);

$C, m, t_0$ , e  $n$ : parâmetros de ajuste da equação local.

Lançaram-se as séries de intensidade máxima média em coordenadas logarítmicas, em função do tempo de duração, obtendo-se uma família de curvas paralelas. Por tentativa e erro, encontrou-se o valor da constante que, adicionado às abscissas ( $t_d$ ), mudou o comportamento

das curvas, tornando-as retilíneas. As curvas de intensidade-duração foram transformadas em retas paralelas, tendo como equação geral:

$$\log i = \log C - n \log(t_d - t_0) \quad (15)$$

Os parâmetros angular ( $n$ ) e linear ( $\log C$ ), foram determinados pelo Método dos Mínimos Quadrados. O coeficiente linear ( $\log C$ ) foi lançado em gráfico de escalas logarítmicas em função do tempo de retorno ( $Tr$ ), para que se pudesse determinar o parâmetro  $m$ , novamente utilizando o Método dos Mínimos Quadrados, pela equação:

$$\log C = \log K + m \log Tr \quad (16)$$

Partindo-se dos valores obtidos para os parâmetros ( $C$ ,  $m$ ,  $t_0$  e  $n$ ), com o software Excel aplicou-se a ferramenta “Solver” com o objetivo de refinar o ajuste dos parâmetros da equação (Equação 14). O software realizou a minimização do erro quadrático médio, ajustando de forma iterativa, todos os parâmetros da equação definitiva.

Para obtenção da Equação II, para tempos de duração ( $t_d$ ) de chuva superiores a 240 minutos, utilizou-se o método da desagregação de chuvas diárias, proposto por DAEE-CETESB (1986). De posse dos valores máximos de chuva diária, oriundos da série histórica de dados, calculou-se os valores de chuva para as durações de 240, 360, 480, 600, 720 e 1.440 minutos, utilizando o coeficiente correspondente para cada tempo de duração (Tabela 1). As intensidades máximas de chuva para cada tempo de duração, foram obtidas dividindo-se a altura calculada pela duração correspondente, obtendo assim, valores expressos em  $\text{mm h}^{-1}$ .

A partir dos valores obtidos por meio de desagregação da chuva de 1 (um) dia, obteve-se pontos suficientes para a definição das curvas de intensidade-duração-frequência, utilizando-se a mesma metodologia de obtenção dos parâmetros da Equação I (para tempos de duração de até 240 minutos de chuva). Com a Equação II ajustada, será possível realizar a predição de eventos de chuva intensa para tempos de duração de 240 a 1.440 minutos (4 a 24 horas).

Para a avaliação do desempenho e qualidade do ajuste das duas equações (Equação I e II), foram utilizadas as seguintes medidas estatísticas: Proporção da Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) para o desvio padrão dos dados medidos (RSR), Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS), Percentual de Tendência (PBIAS) e Coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação da chuva de 1 (um) dia, utilizados no cálculo para a obtenção da Equação II.

Duração	Coeficiente
24 h/1 dia	1,14
12 h/24 h	0,85
10 h/24 h	0,82
8 h/24 h	0,78
6 h/24 h	0,72
4 h/24 h	0,63

Fonte: DAEE-CETESB (1986).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Análise inicial dos dados de chuva

Para a aplicação da distribuição de probabilidade à série histórica de dados, alguns testes estatísticos não-paramétricos foram realizados para identificar se os dados apresentavam consistência a fim de submetê-los aos modelos de predição que lhes seriam aplicados, cujos resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados dos testes não-paramétricos aplicados ao conjunto de dados da série histórica (1989 - 2016).

Teste	Parâmetro do teste				$\alpha$	Valor crítico	t
	Ni	N	E (Ni)	Var (Ni)			
Aleatoriedade	16	28	17,33	4,656	0,05	1,96	0,618
Conclusão: Hipótese $H_0$ aceita (série aleatória).							
Estacionariedade	cs 0,038	-	-	Var (cs) 0,037	0,05	1,96	t   0,196
Conclusão: Hipótese $H_0$ aceita (série estacionária).							

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

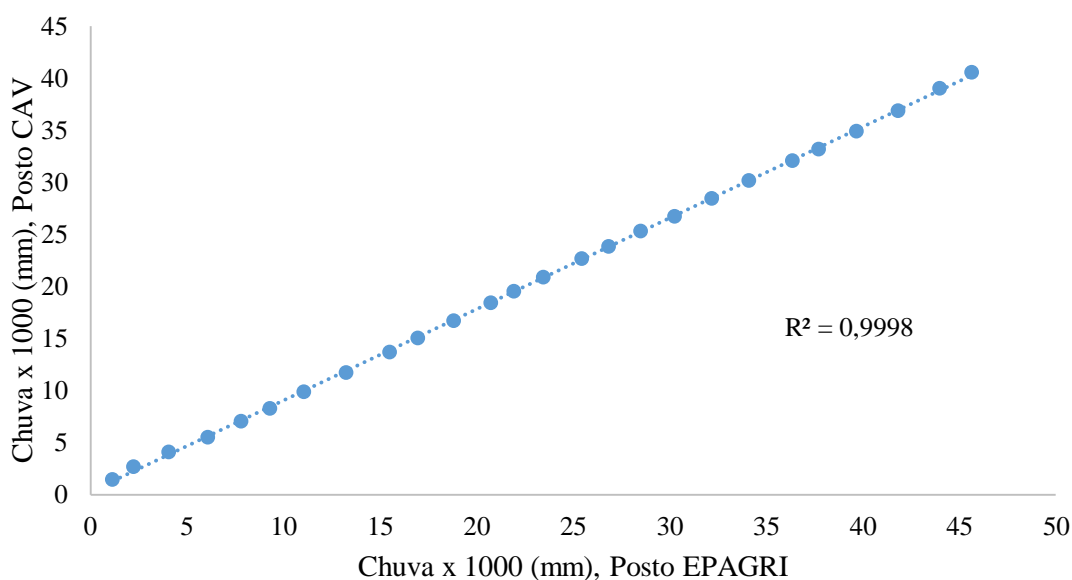
Ni : número de inflexões observadas na série; N: número de dados da amostra; E(Ni) : esperança de Ni; var(Ni) : variância de Ni;  $\alpha$ : nível de significância; | t |: estatística de teste; cs : coeficiente da equação; var(cs) : variância do coeficiente “cs”.

Com base nos resultados da Tabela 2, concluiu-se que a série histórica de dados de precipitação apresenta os requisitos necessários para a aplicação da distribuição de

probabilidade. A resposta do teste de aleatoriedade, indicou que as oscilações na série foram decorrentes de causas naturais, fortuitas, sem interferência antrópica. Com relação a hipótese de estacionariedade, firmou-se a suposição de que o conjunto de dados não apresentava tendência temporal, ou seja, não se verificou ciclos nítidos ao longo do tempo de observação. Ainda na subsequência da análise de credibilidade dos dados, realizou-se o teste nomeado Análise de Dupla Massa, com o propósito de identificar a homogeneidade dos registros, cujo resultado encontra-se na Figura 2.

A análise de dupla massa é o método utilizado para a verificação de homogeneidade de dados, por meio do qual se infere sobre a existência ou não de anormalidades na unidade pluviométrica, indicando a existência ou não de alterações de local e condições do aparelho e/ou, modificações no método de observação. Os resultados da Figura 2 obtidos com a análise, reiteraram a existência de homogeneidade no conjunto de observações, em virtude da ausência de alteração na declividade da reta, dispensando a correção dos dados. Para esta análise, utilizaram-se os dados do posto meteorológico da Estação Experimental da EPAGRI de Lages, o qual faz parte Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina.

Figura 2 – Análise de dupla massa dos dados de chuva acumulada, para a série histórica dos dados.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Na Figura 3, apresenta-se o comportamento da série de chuvas máximas anuais, com as respectivas frequências encontradas pelo método empírico de Kimbal, e a curva de distribuição

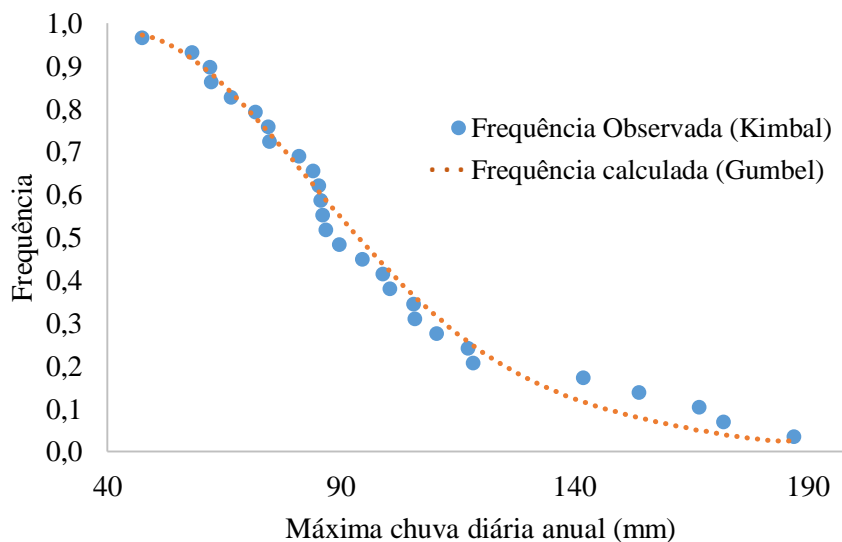


estimada pelo modelo de Gumbel, relativos aos dados meteorológicos deste estudo. Visualmente, observa-se a satisfatória aderência de distribuição entre os valores observados (Kimbal) e os estimados por Gumbel, com base na frequência.

Os valores absolutos obtidos com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ( $D_{n_{Max}}$ ), por meio do qual verificou-se o ajuste da distribuição estatística de Gumbel aos dados observados, permitiu concluir que não houve rejeição de  $H_0$  ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , confirmando que a distribuição de Gumbel se ajustou aos dados, uma vez que o  $D_{n_{Max}}$  calculado (0,072) foi menor do que o valor crítico tabelado (0,251).

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, confirmou assim, a alta confiabilidade da distribuição probabilística, podendo ser empregada para os dados de chuva intensa deste posto meteorológico. Resultados semelhantes foram encontrados por Colombelli e Mendes (2013) e Back (2006) que obtiveram valores satisfatórios de aderência à distribuição probabilística de Gumbel aos dados, utilizando um nível de significância de 0,1; para as cidades de Videira/SC e Chapecó/SC.

Figura 3 - Frequência dos valores máximos de chuva anual estimada e observada.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Dessa maneira, os resultados corroboraram com a hipótese de que as frequências teóricas estimadas pela distribuição aderiram-se às frequências observadas. Com a aderência, torna-se possível estimar intensidade de chuvas extremas para tempos de retorno maiores que o número de anos que compuseram a série histórica de dados.

Analisando a exatidão do ajuste da distribuição probabilística, conforme metodologia proposta por Willmott (1981), referindo-se ao índice de concordância (d) (Equação 8), o qual define como um valor descritivo que reflete a exatidão dos valores preditos em relação aos valores observados, calculou-se o índice com o objetivo de avaliar a exatidão dos valores preditos através da distribuição de Gumbel (Tabela 3). Os valores obtidos no teste de exatidão demonstraram perfeita concordância entre os valores preditos e observados, uma vez que, valores próximos a um (1,0) significam concordância e, próximos a zero (0), total discordância.

O índice “d” é utilizado para definir a concordância entre modelos e métodos, em diferentes áreas do conhecimento, muito utilizado por diversos autores (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003; PEREIRA et al., 2009; ALENCAR et al., 2011; FERNANDES et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; CUNHA et al., 2013; GIONGO et al., 2013; MIRANDA et al., 2014; RAMOS et al., 2014a; MENGUE; FONTANA 2015; CUNHA et al., 2015).

A precisão dos modelos é mensurada pelo coeficiente de correlação (r), o qual indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Ao analisar-se o resultado obtido com o teste aplicado (valor de r: 0,99), utilizando para tanto a classificação proposta por Hopkins (2000), admite-se a alta precisão encontrada com a adoção da distribuição probabilística de Gumbel.

Para analisar o desempenho do ajuste, foi utilizado o critério do coeficiente  $C_{(d,r)}$  segundo Camargo e Sentelhas (1997). A confiança ou o desempenho do método ou modelo é dada pelo índice “C”, que reúne os índices de precisão (r) e exatidão (d). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do índice de exatidão ou concordância (d) de Willmott, coeficiente de correlação (r) e índice de desempenho, (C), obtidos no cálculo de avaliação da distribuição de Gumbel.

Parâmetro	Valor	Classificação/desempenho
d	0,998	-
r	0,997	Quase perfeita
C (d . r)	0,995	Ótima

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Reunindo os resultados obtidos e, com o embasamento da classificação dos valores resultantes (WILLMOTT 1981; HOPKINS 2000; CAMARGO; SENTELHAS 1997), concluiu-se que a utilização da distribuição de Gumbel foi perfeitamente aceitável, uma vez que os resultados combinados representaram alto grau de aproximação entre os valores estimados e observados.

Após a análise dos dados com os testes estatísticos, identificou-se as máximas alturas de chuva ocorridas dentro da série histórica de dados, e calculou-se as alturas máximas (mm), a probabilidade de ocorrência e também o tempo de retorno para as máximas alturas (Tabela 4). Para o tempo de retorno de 15 anos, comumente utilizado no dimensionamento das obras hidráulicas agrícolas, a altura máxima de chuva esperada, calculada por meio da equação de Gumbel, foi de 158,4 mm, com probabilidade de ocorrência de 6,6 %. Para períodos de tempo superiores, a altura de chuva tem seu valor aumentado, enquanto a probabilidade de ocorrência diminui.

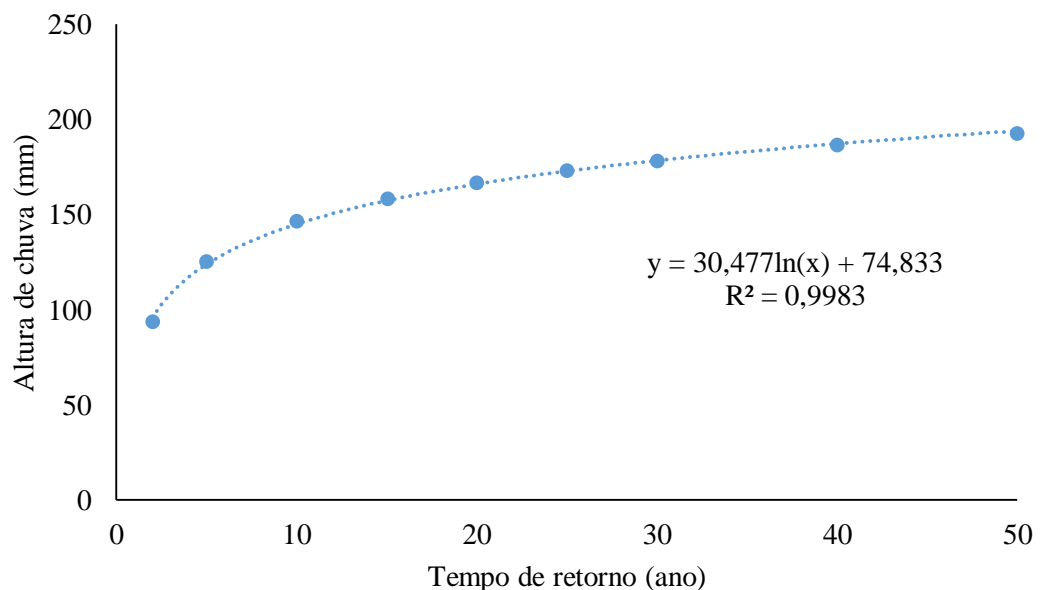
Tabela 4 - Altura máxima calculada para os tempos de retorno.

Tr (anos)	P (%)	$Y_{Tr}$	mm
50	2,0	3,90	192,8
40	2,5	3,68	186,4
30	3,3	3,39	178,3
25	4,0	3,20	173,1
20	5,0	2,97	166,7
15	6,6	2,68	158,4
10	10,0	2,25	146,5
5	20,0	1,50	125,4
2	50,0	0,37	93,7

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência;  $Y_{Tr}$ : variável reduzida da distribuição de Gumbel; mm: altura máxima de chuva esperada.

Figura 4 - Alturas máximas de chuva em função do tempo de retorno, calculadas pela distribuição estatística de Gumbel.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

A analisando a Tabela 4 e a Figura 4, verifica-se, conforme o esperado, que quanto maior o tempo de retorno, maior é a lâmina prevista de chuva. Em outras palavras, a medida que eleva-se o período de tempo para a recorrência dos eventos, maiores serão as alturas de chuva que poderão vir a ocorrer no referido período.

### 2.5.2 Equação Intensidade-Duração-Frequência – Equação I

Os valores de intensidade máxima da chuva observada no período de estudo, de 1989 a 2016, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de intensidade máxima de chuva observada ( $\text{mm h}^{-1}$ ) para diferentes tempos de duração (5 a 240 minutos) no período de 1989 a 2016.

Ano	Tempo de duração (min)											
	5	10	15	20	25	30	60	90	120	150	180	240
1989	117,6	82,8	72,0	72,0	66,4	55,7	28,8	22,8	17,9	14,6	12,4	9,4
1990	101,0	101,0	90,0	80,5	68,8	59,0	33,7	23,3	17,7	14,7	13,1	11,2
1991	66,0	66,0	45,2	34,8	34,4	31,6	19,0	14,7	12,6	11,3	10,5	9,4
1992	116,0	116,0	116,0	87,4	70,2	58,7	30,0	20,2	15,4	12,8	11,7	9,5
1993	156,0	96,6	96,6	96,6	81,9	72,1	41,5	28,2	21,7	19,2	17,6	16,9
1994	108,0	90,0	79,2	68,4	61,9	56,6	30,6	20,8	18,4	14,8	12,9	10,2
1995	115,8	105,6	101,3	81,0	64,9	54,1	32,0	23,4	17,6	14,1	11,7	9,5
1996	92,4	92,4	78,2	78,2	78,2	70,5	41,6	28,6	22,1	18,0	15,2	12,1
1997	106,6	106,6	94,9	75,9	61,8	52,4	27,8	19,9	16,3	15,0	16,8	15,2
1998	91,2	65,2	65,2	50,9	48,0	48,0	32,5	23,6	19,1	15,9	14,4	12,2
1999	82,8	53,6	53,6	48,9	48,4	45,6	25,4	18,1	14,1	12,0	10,3	9,3
2000	98,4	85,2	74,4	69,9	60,9	54,9	40,5	32,8	25,4	20,7	17,3	13,0
2001	113,4	93,5	73,6	62,9	53,0	47,7	29,3	21,6	17,4	15,0	13,6	10,6
2002	122,4	122,4	93,6	77,4	63,7	56,4	34,6	26,5	28,8	23,8	20,0	15,2
2003	86,1	86,1	86,1	86,1	86,1	80,9	40,7	27,1	20,4	16,3	13,6	10,2
2004	75,1	75,1	75,1	75,1	75,1	64,7	35,1	23,7	18,1	14,6	12,2	10,3
2005	104,7	66,5	66,5	66,5	59,1	50,0	27,3	19,2	15,4	13,9	12,4	10,6
2006	102,0	61,2	60,0	59,4	52,5	44,8	23,0	16,0	12,6	10,4	8,7	7,5
2007	115,2	106,8	91,2	72,6	58,2	48,7	24,4	16,3	13,2	11,2	9,3	7,3
2008	100,0	65,3	65,3	61,7	56,6	54,3	44,6	39,1	29,9	24,1	20,7	15,8
2009	127,2	79,8	66,4	49,8	41,5	36,0	20,1	17,0	18,7	17,2	14,4	11,4
2010	153,6	112,8	80,0	63,6	53,8	50,0	31,8	24,0	18,1	14,7	14,4	11,2
2011	129,6	94,3	74,4	64,5	54,1	53,2	46,6	35,5	28,5	26,1	23,3	17,9
2012	113,1	69,2	59,4	50,9	41,9	36,3	26,6	25,7	22,4	18,6	16,1	12,9
2013	144,0	80,4	54,2	41,0	33,6	29,2	21,2	15,6	12,8	11,4	10,3	9,1
2014	120,0	91,2	64,0	57,0	50,4	42,8	32,9	22,9	17,2	13,8	11,5	9,5
2015	120,0	109,2	80,0	65,1	62,4	56,0	43,4	32,9	25,7	20,6	17,1	12,9
2016	127,2	93,0	64,8	56,4	47,5	41,6	24,1	20,7	15,8	14,2	12,1	9,7

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

É possível identificar que com o aumento do tempo de duração da chuva intensa, sua intensidade máxima diminuiu. Por exemplo, a maior intensidade em 5 (cinco) minutos ocorreu no ano de 1993 (156 mm h<sup>-1</sup>) e a maior intensidade em 240 minutos (4 horas) foi identificada no ano de 2011 (17,9 mm h<sup>-1</sup>).

A partir dos valores de intensidade máxima observada, calculou-se as estimativas amostrais,  $\bar{x}$  (média aritmética)  $s$  (desvio padrão) e, por meio do método dos momentos, os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$  da distribuição de Gumbel. Por fim, calculou-se os valores de intensidade máxima por meio da equação (11), cujos valores encontram-se na Tabela 6. Na referida tabela, observa-se o decréscimo gradual da intensidade média à medida que o tempo de duração da chuva aumenta, cujo comportamento também se verifica nos valores da Figura 6, onde se fez ajuste hiperbólico das curvas para cada tempo de duração.

Tabela 6 - Estimativa da intensidade de chuva média máxima (mm h<sup>-1</sup>) para a Equação I, pela distribuição de Gumbel, para diferentes tempos de duração e tempos de retorno.

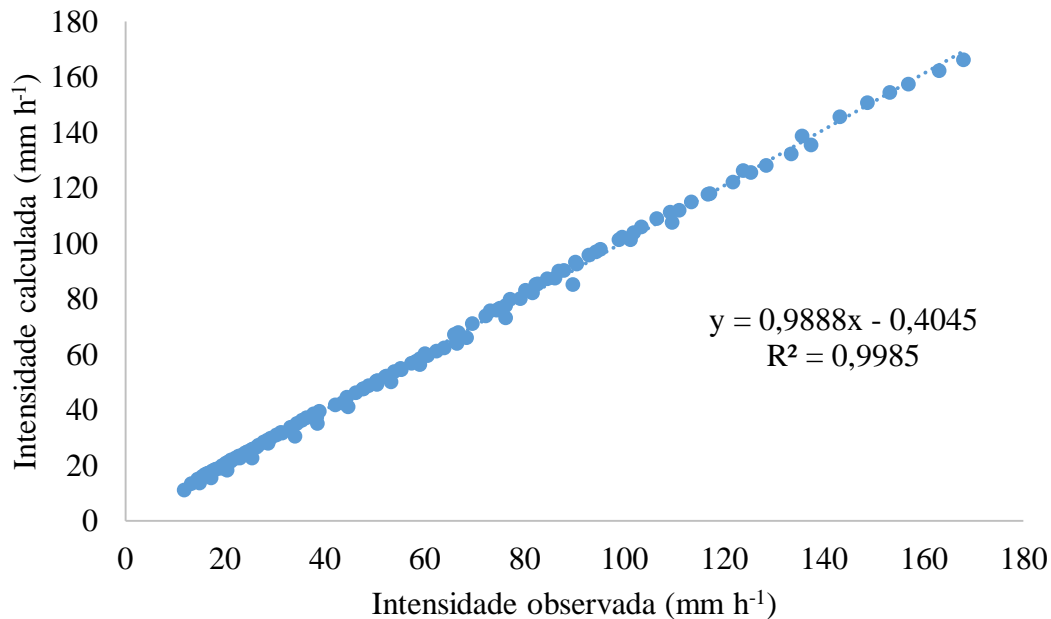
$t_d / T_r$	$X_{Tr}$ (mm h <sup>-1</sup> )								
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	25 anos	30 anos	40 anos	50 anos
5 min.	107,4	126,2	138,6	145,7	150,6	154,4	157,4	162,3	166,0
10 min.	85,1	101,3	111,9	117,9	122,2	125,4	128,0	132,2	135,4
15 min.	73,1	87,4	96,9	102,2	106,0	108,8	111,2	114,9	117,7
20 min.	63,9	76,6	85,1	89,9	93,2	95,8	97,9	101,2	103,7
25 min.	56,2	67,9	75,6	79,9	82,9	85,3	87,2	90,2	92,5
30 min.	49,9	60,3	67,1	71,0	73,7	75,8	77,5	80,1	82,2
60 min.	30,5	37,3	41,8	44,4	46,2	47,6	48,7	50,4	51,8
90 min.	22,6	28,0	31,6	33,6	35,0	36,1	37,0	38,4	39,5
120 min.	18,2	22,6	25,5	27,1	28,2	29,1	29,8	31,0	31,8
150 min.	15,4	19,0	21,3	22,7	23,6	24,3	24,9	25,8	26,6
180 min.	13,5	16,6	18,7	19,8	20,6	21,3	21,8	22,6	23,2
240 min.	11,0	13,4	15,0	15,9	16,5	17,0	17,4	18,0	18,4

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

$X_{Tr}$ : variável hidrológica de intensidade máxima média;  $t_d$ : tempo de duração do evento de precipitação;  $T_r$ : tempo de retorno.

Na Figura 5 está a relação entre os valores de intensidade observada e calculada, para os diferentes tempos de duração e tempos de retorno, empregando a relação IDF ajustada para os dados em estudo. Evidenciou-se o perfeito ajuste da relação IDF aos dados, com comportamento retilíneo resultando valores muito próximos aos de uma reta perfeita (1:1).

Figura 5 - Valores de intensidade de chuva calculada em relação à intensidade observada, linha de tendência e o valor de  $R^2$  para tempos de duração de até 240 minutos.

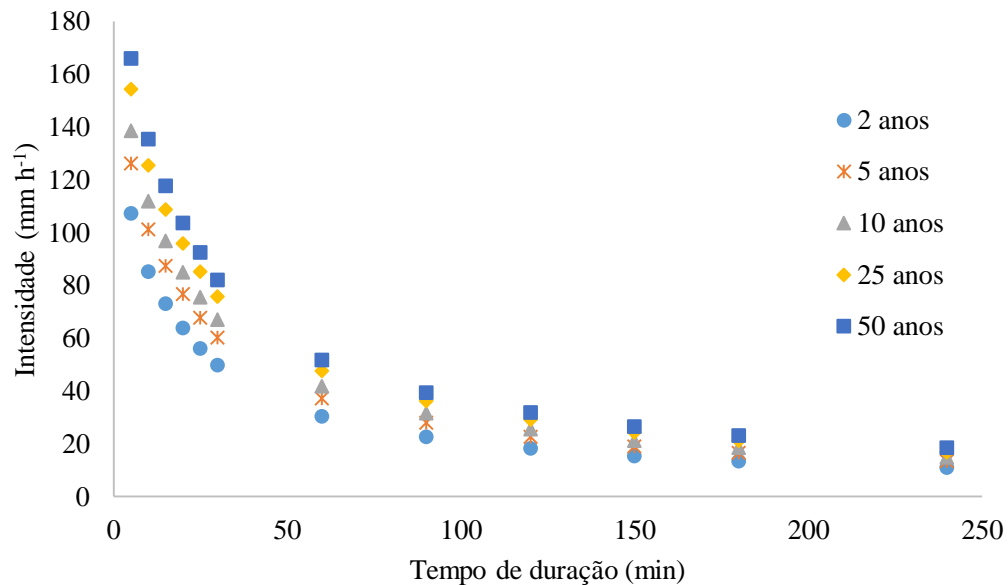


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Analisando as curvas IDF (intensidades da chuva médias máximas estimadas pela distribuição de Gumbel) na Figura 6, observa-se o comportamento típico das curvas IDF – à proporção que o tempo de duração da precipitação aumenta, sua intensidade diminui, com as maiores intensidades ocorridas nos maiores tempos de retorno. Segundo Bertoni e Tucci (2001), ao analisar-se a relação intensidade de chuva com a duração, os valores variam de maneira inversamente proporcional, para um mesmo tempo de recorrência. Este comportamento típico foi identificado em todas as curvas ao se relacionar intensidade com a duração das chuvas.

Os parâmetros da equação geral IDF (Equação 14) foram ajustados seguindo a metodologia descrita no item 2.4, e o resultado obtido foi apresentado na Tabela 7. Por questões de praticidade e minimização do erro, foram adotadas duas (2) casas decimais truncadas para os parâmetros  $C$  e  $t_0$  e três (3) para os parâmetros  $m$  e  $n$ .

Figura 6 - Curvas de intensidade-duração-frequência das chuvas máximas para tempos de duração de até 240 minutos, traçadas de acordo com a Equação I, para Lages, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Tabela 7 - Parâmetros de ajuste e equação intensidade-duração-frequência (IDF) para a Equação I, a ser utilizada na predição da intensidade de chuva para tempos de duração ( $t_d$ ) inferiores a 240 minutos, para Lages, SC.

Parâmetros				Equação IDF
$C$	$m$	$t_0$	$n$	
1285,65	0,133	14,15	0,865	$i = \frac{1285,65 \cdot Tr^{0,133}}{(t_d + 14,15)^{0,865}}$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

$C$ ,  $m$ ,  $t_0$  e  $n$ : parâmetros de ajuste da equação IDF.

E, a partir do ajuste final dos parâmetros da Equação I, realizado com o uso do software Excel, por meio da ferramenta “Solver”, obteve-se os valores definitivos para todos os parâmetros da equação geral IDF, expressos nos modelos matemáticos a seguir:

$$i = \frac{1285,65 \cdot Tr^{0,133}}{(t_d + 14,15)^{0,865}}, \text{ onde:} \quad (17)$$

$i$ : intensidade máxima média de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$Tr$ : tempo de retorno (ano);

$t_d$ : tempo de duração (min).

A equação (17) ajustada, poderá ser utilizada na predição de eventos de chuva para tempos de duração de até 240 minutos. O cálculo por meio da equação é válido para tempos de retorno menores que 50 anos.

### 2.5.3 Equação Intensidade-Duração-Frequência - Equação II

Com os valores de chuva máxima diária, observados na série histórica de dados, aplicou-se o método de desagregação das chuvas, utilizando os valores de coeficiente presentes na Tabela 1, obtendo os valores de chuva para durações inferiores a 1 dia. A intensidade de chuva máxima foi determinada por meio do quociente entre os valores de altura de chuva e de duração da mesma. Com os valores de intensidade máxima, calculou-se as estimativas amostrais,  $\bar{x}$  (média aritmética),  $s$  (desvio padrão) e os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$ .

O comportamento dos resultados assemelhou-se aos da Equação I (item 2.5.2), ou seja, variação inversamente proporcional entre a duração e a altura de chuva, e diretamente proporcional entre a altura e o tempo de retorno. Os valores de intensidade máxima calculada encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Estimativa de chuva de precipitação média máxima ( $\text{mm h}^{-1}$ ) obtida com a Equação II, pela distribuição de Gumbel para diferentes tempos de duração e tempo de retorno.

$t_d / T_r$	$X_{Tr}$ ( $\text{mm h}^{-1}$ )								
	2 anos	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	25 anos	30 anos	40 anos	50 anos
240 min.	14,8	19,8	23,1	24,9	26,2	27,2	28,1	29,4	30,4
360 min.	11,2	15,1	17,6	19,0	20,0	20,8	21,4	22,4	23,1
480 min.	9,1	12,2	14,3	15,4	16,2	16,9	17,4	18,2	18,8
600 min.	7,7	10,3	12,0	13,0	13,7	14,2	14,6	15,3	15,8
720 min.	6,6	8,9	10,4	11,2	11,8	12,3	12,6	13,2	13,7
1440 min.	3,3	4,4	5,2	5,6	5,9	6,1	6,3	6,6	6,8

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

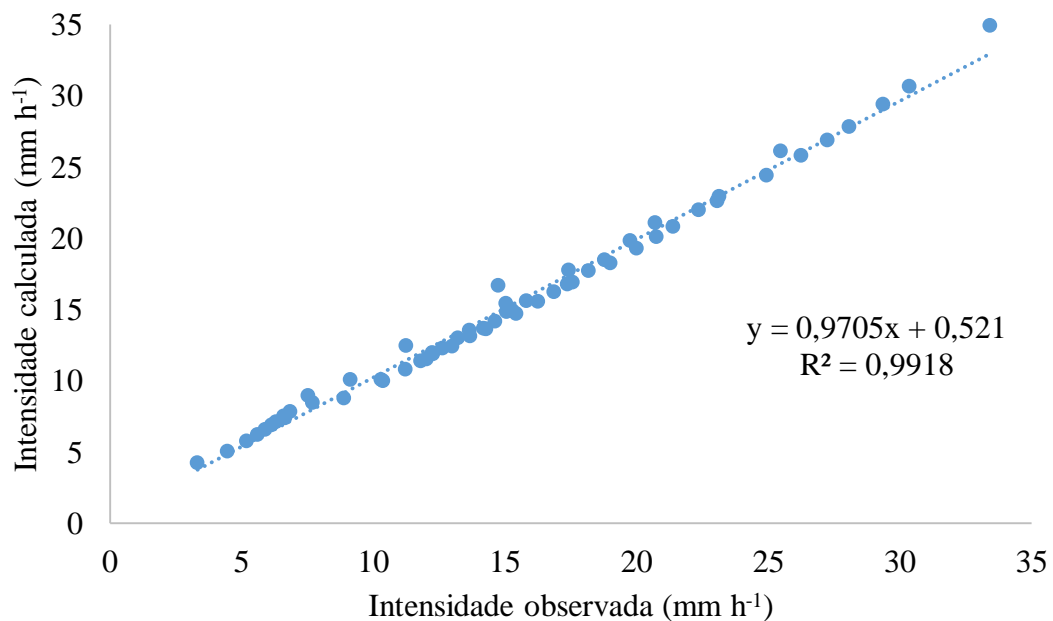
$X_{Tr}$ : variável hidrológica de intensidade média máxima;  $t_d$ : tempo de duração do evento de precipitação;  $T_r$ : tempo de retorno.

Na Figura 7 encontra-se a relação entre os valores de intensidade de chuva observada e calculada, para os diferentes tempos de duração e tempos de retorno, empregando a relação IDF



ajustada para os dados em estudo. Observa-se o quase perfeito ajuste do modelo aos dados, com um coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,9918$ . Além disso, a inclinação da reta aproximou-se do esperado ( $45^\circ$ ), quando se calcula a função inversa da tangente ( $\text{tg}^{-1}$ ) para o coeficiente angular da reta ( $0,9705$ ), resultando num ângulo de inclinação de  $44,14^\circ$ , comprovando a excelente aderência da série teórica de Gumbel aos dados da série de chuvas observadas.

Figura 7 - Valores de intensidade de chuva calculada em relação à intensidade observada, linha de tendência e o valor de  $R^2$  para tempos de duração de 240 a 1440 minutos.

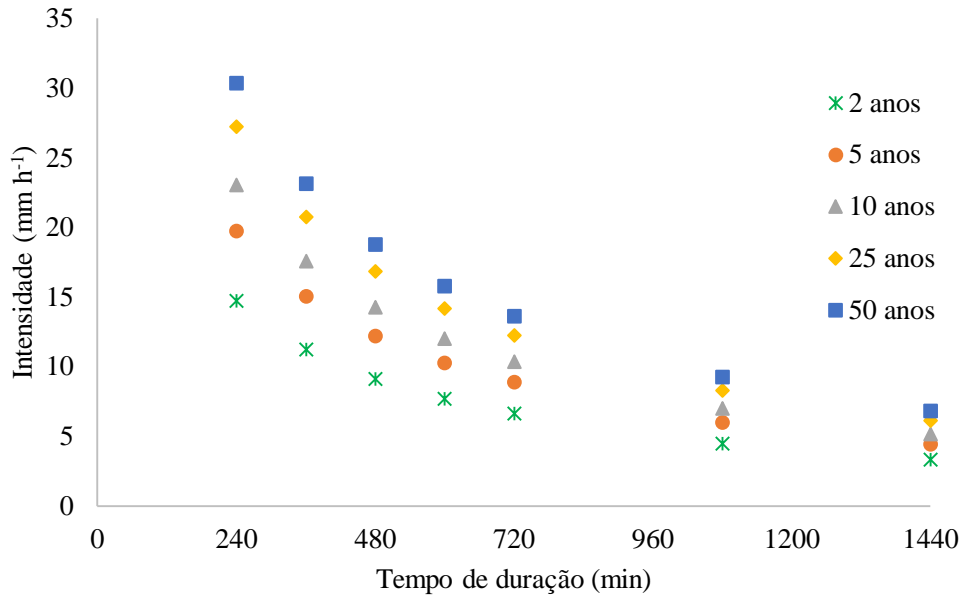


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Analisando as curvas IDF, estimadas pela distribuição de Gumbel (Figura 8), observa-se que à medida que o tempo de duração da chuva aumenta, sua intensidade diminui, comportamento identificado e também já descrito anteriormente (item 2.5.2), típico das relações IDF.

Com todos os coeficientes calculados foi concluída a equação geral proposta no item 2.4 (Equação 14). Os parâmetros ajustados e a equação intensidade-duração-frequência (IDF), para os dados registrados pelos equipamentos presentes na estação meteorológica do CAV/UEDESC de Lages, SC, são apresentados na Tabela 9.

Figura 8 – Valores de intensidade de chuva em função do tempo de duração (240 a 1440 minutos) obtidas pela Equação II, para diferentes tempos de retorno, para Lages, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Tabela 9 - Parâmetros de ajuste e equação intensidade-duração-frequência (IDF) para a Equação II, a ser utilizada na predição da intensidade de chuvas para tempos de duração ( $t_d$ ) superiores a 240 e inferiores a 1440 minutos, para Lages, SC.

Parâmetros				Equação IDF
$C$	$m$	$t_0$	$n$	
1500,42	0,189	42,1	0,82	$i = \frac{1500,42 \cdot Tr^{0,189}}{(t_d + 42,1)^{0,82}}$

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

$C$ ,  $m$ ,  $t_0$  e  $n$ : parâmetros de ajuste da equação IDF.

A Equação II (Tabela 9), gerada a partir dos valores de intensidade máxima, tempo de duração e tempo de retorno, obtidos a partir da desagregação da chuva máxima de 1 (um) dia, representa a equação IDF para o local deste estudo. A equação gerada permite o cálculo da intensidade máxima de chuvas com tempos de duração de 240 a 1440 minutos e tempo de retorno de até 50 anos, é apresentado a seguir:

$$i = \frac{1500,42 \cdot Tr^{0,189}}{(t_d + 42,1)^{0,82}}, \text{ onde:} \quad (18)$$

$i$ : intensidade máxima média de chuva ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$Tr$ : tempo de retorno (ano);

$t_d$ : tempo de duração (min).

Recomenda-se que o uso dessa equação não ultrapasse o tempo de retorno de 50 anos.

#### 2.5.4 Desempenho e capacidade das equações

Após o ajuste dos parâmetros das duas equações (I e II) e, por fim a consecução da forma geral das mesmas, aplicou-se alguns testes com o objetivo de verificar a capacidade das equações ajustadas. O primeiro teste empregado foi o RSR, o qual padroniza a raiz do erro médio quadrático usando o desvio padrão das observações. O teste RSR engloba os proveitos das estatísticas de índice de erro e inclui um fator de escala/normalização. A resultante pode variar entre zero e um valor positivo, indicando um modelo de simulação perfeito ou um modelo imperfeito, respectivamente. O valor obtido com o teste RSR foi de 0,041 com a Equação I e 0,040 com a Equação II (Tabela 10), o que indica uma variação residual quase nula, visto que, quanto menor o valor residual, menor a raiz do erro médio quadrático e melhor o desempenho da equação (MORIASI et al., 2007).

O segundo teste aplicado, conhecido como coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS), teve por finalidade verificar a eficiência do modelo de equação IDF. O teste consiste em uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual em comparação com a variância dos dados observados. O resultado foi de 0,998 para ambas equações, valor que se aproximou do máximo (1), indicando um desempenho ótimo (Tabela 10). A faixa de valores aceitáveis para determinado teste é de 0 a 1. Valores negativos indicam que a média dos dados observados pode fornecer uma melhor previsão do que os valores preditos pelo modelo.

O terceiro teste aplicado, chamado de função Percentual de Tendência (PBIAS), preconiza resultados próximos a nulidade para uma adequada simulação do modelo. Os valores encontrados na análise das equações ajustadas, assemelharam-se em magnitude, porém, com sinais opostos. Ambas equações apresentaram resultados ótimos, uma vez que, baixas magnitudes indicam boa precisão na simulação do modelo. Entretanto, diferiram quanto a tendência percentual, pois, valores positivos indicam tendência de subestimação (Equação II) e valores negativos indicam tendência de superestimação (Equação I) (MORIASI et al., 2007).

Tabela 10 - Resultados dos testes estatísticos aplicados na avaliação de desempenho da equação intensidade-duração-frequência (IDF).

Teste aplicado	Valor obtido	
	Equação I	Equação II
Raiz do Erro Médio Quadrático (RSR)	0,041	0,040
Coefficiente de Nash-Sutcliffe (NS)	0,998	0,998
Percentual de Tendência (PBIAS)	- 0,476	0,444
Coefficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	0,979	0,975

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Ainda dissertando sobre a Tabela 10, no último teste aplicado, utilizou-se o coeficiente de determinação R<sup>2</sup>, o qual é definido como o quociente da soma dos quadrados das diferenças entre as precipitações estimadas e a média das precipitações observadas pela soma dos quadrados das diferenças entre as precipitações observadas e a média destas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Os resultados obtidos com este teste foram semelhantes para as duas equações, 0,979 e 0,975 para a Equação I e II, respectivamente.

Os valores para o coeficiente de determinação podem variar de 0 a 1, onde 0 indica nenhuma correlação e 1 representa uma correlação perfeita. O resultado das duas equações aproximou-se do valor inteiro, indicando o quanto a variância dos valores observados são replicados pelas previsões do modelo. Considerou-se, a partir dos quatro testes empregados (Tabela 10), que os dois modelos de equações (I e II) estão satisfatoriamente calibrados, pois, os valores calculados da função objetivo, para ambas equações, apresentaram valores superiores aos requisitos mínimos de qualidade, podendo ser empregadas na previsão de eventos de chuva na região de Lages, SC.

## 2.6 CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo são:

- a) a distribuição de frequência da intensidade das chuvas de Lages, SC, estimada pelo método de Gumbel por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ), ajusta-se à frequência de chuvas observadas, confirmando a confiabilidade de distribuição probabilística dos dados e podendo ser utilizada na estimativa de intensidade para determinados tempos de retorno e duração das chuvas;

b) com os dados do estudo é possível escrever as equações intensidade-duração-frequência (I-D-F) como sendo:  $i=1.285,65 \times Tr^{0,133} \times (t+14,15)^{-0,865}$  para a equação I com tempos de duração de chuvas de até 240 minutos; e  $i=1.500,42 \times Tr^{0,189} \times (t+42,10)^{-0,820}$  para a equação II com tempos de duração de chuvas entre 240 a 1440 minutos, para predizer a intensidade máxima média de chuvas; portanto, o modelo de equação I-D-F ajusta-se aos dados de chuva observados de uma série de 28 anos para Lages, SC.



### **3 ESTUDO II - ESCOAMENTO E EROSÃO HÍDRICA INFLUENCIADOS PELO MANEJO DO SOLO, E TEMPO DE RETORNO**

#### **3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

##### **3.1.1 escoamento superficial**

Existe a necessidade de melhor estimativa, quanto à taxa e quanto ao volume total de escoamento superficial, bem como do seu impacto ambiental e dos prejuízos econômicos gerados. Sendo assim, pesquisas se tornam necessárias, visando quantificar o real efeito dos sistemas de manejo do solo, e também determinar a capacidade supressora ao processo de degradação, representado pelas práticas conservacionistas.

A infiltração de água no solo representa a passagem da mesma através da superfície, sendo de fundamental importância para o crescimento da vegetação, abastecimento dos reservatórios de água subterrânea, armazenamento da água que mantém o fluxo nos rios durante as estiagens, à prevenção das cheias, à redução do escoamento superficial e ao controle da erosão hídrica (MELLO; SILVA, 2013).

Determinada precipitação pluvial, ao incidir sobre o solo seco, será inicialmente infiltrada e, o volume percolado ao longo do perfil, será limitado pela presença e arranjo da macroporosidade. À medida que o volume de poros vazios vai sendo preenchido, a infiltração diminui e o volume infiltrado passa a ser regido pela capacidade do solo em transferir a água para as camadas mais profundas. Esta habilidade natural, quanto à dinâmica da água, será determinada pelo conjunto superfície - sub superfície do solo, comandadas pelas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais variam para cada tipo de solo (REICHARDT, 1987).

O volume do espaço poroso do solo, ocupado por ar e água, é variável e reflete a interação entre as propriedades do solo, somado às atividades nele desenvolvidas. A porosidade, textura, umidade inicial, atividade biológica, cobertura vegetal, rugosidade superficial e a declividade do terreno, são os principais fatores relacionados ao solo e que influenciam a infiltração de água (BRANDÃO et al., 2006). O conhecimento dos processos que regem a infiltração, a distribuição e o armazenamento de água, são imprescindíveis para um eficiente manejo do solo e da água nos cultivos agrícolas, tanto para o controle da erosão hídrica como para a disponibilidade de água às plantas.

Os macroporos são os principais responsáveis pela infiltração e circulação rápida de água, além da aeração do solo e, segundo Dalla Rosa (1981), a degradação do sistema poroso

resultará na redução da taxa de infiltração de água no solo. A interação das propriedades do solo influencia a capacidade de infiltração de água, bem como a capacidade do solo em resistir à desagregação e ao transporte pelos agentes erosivos (WISCHMEIER; MANNERING, 1969).

O escoamento superficial e as perdas de solo, acentuam-se quando, através das operações de preparo, retira-se a cobertura vegetal, deixando o solo exposto (COGO, 1981; BERTOL, 1995). Através da ação de impacto das gotas de chuva, ao atingirem o solo e, também pela ação cisalhante do fluxo superficial de água, em situações de pouca ou ausência de cobertura do solo, terá início o processo de formação do selamento superficial, o qual tem grande efeito sobre a infiltração de água, devido à fina camada compactada formada na superfície do solo (BRANDÃO et al., 2007). Em grande parte, o escoamento superficial é controlado pela infiltração de água no solo.

### 3.1.1.1 Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento, também conhecido como coeficiente “runoff”, ou, coeficiente de deflúvio, é definido pela razão entre a altura de escoamento e a altura de precipitação hídrica pluvial, ou chuva (TUCCI, 2000). A razão assim obtida pode ser referente a eventos isolados de chuva ou a um intervalo de tempo com diversos eventos distribuídos. O coeficiente de escoamento, o qual é amplamente utilizado no dimensionamento de obras hidráulicas, varia quantitativamente de 0 (zero) a 1, valores estes que representam respectivamente nenhum escoamento ou escoamento completo da chuva incidente. Abaixo, a equação que define o coeficiente de escoamento:

$$C = \frac{\text{lâmina total de escoamento (mm)}}{\text{lâmina total de precipitação (mm)}}, \text{ onde:} \quad (19)$$

*C*: coeficiente de escoamento (adimensional).

De posse do coeficiente de escoamento, referente à superfície/área em estudo e relativo à determinada chuva, com respectiva intensidade e duração, torna-se possível prever o escoamento superficial para eventos de chuva com intensidades diferentes um dos outros, desde que, as durações sejam semelhantes (VILLELA; MATTOS, 1975). Na Tabela 11, encontram-se valores de coeficiente de escoamento para diversos períodos de retorno, compatíveis com distintos tipos de cobertura vegetal na superfície do solo.



O coeficiente de escoamento é influenciado por fatores que influem na infiltração de água no solo e no escoamento superficial. A rugosidade hidráulica, a declividade do terreno e a profundidade do fluxo, são os fatores que particularizam o escoamento superficial e comandam a magnitude do escoamento. Com relação à rugosidade hidráulica, identifica-se a influência do microrelevo, comprovada por valores de coeficiente de escoamento inferiores em elevadas rugosidades. Em condições de elevado grau de declive e em profundidades de fluxo mais elevadas, no entanto, a rugosidade perde a sua eficiência (COGO et al., 2003).

Tabela 11 - Valores do coeficiente de escoamento, de acordo com vários tipos de cobertura da superfície do solo, declividade e tempos de retorno.

Superfície	Tempos de Retorno (ano)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Gramado</b>							
- Plano (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
- Média (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
- Inclinado (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
<b>Campo Cultivado</b>							
- Plano (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
- Média (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
- Inclinado (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<b>Pastagem</b>							
- Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
- Média (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
- Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Floresta/reflorestamento</b>							
- Plano (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
- Média (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
- Inclinado (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fonte: Chow et al. (1988).

### 3.1.2 Manejo e erosão hídrica do solo

O manejo do solo é um conjunto de operações realizadas com algum fim específico. No caso agrícola, o manejo é composto por operações de preparo mecânico inicial, adubações e sementeira, tratamentos culturais durante o ciclo ou o período de tempo de cultivo, colheita e tratamento dado aos resíduos culturais. Nesse caso, o preparo mecânico assume papel preponderante, pelo fato de influenciar a cobertura e rugosidade superficial do solo, dentre outros aspectos, e a densidade e porosidade interna do mesmo (HANZA; ANDERSON, 2005).

O preparo do solo influencia fortemente as variáveis e parâmetros hidráulicos de superfície e alguns dos principais processos hidrológicos, dentre eles a infiltração de água no solo e o escoamento superficial. Assim, o manejo do solo, como um todo, é muito importante em estudos de hidrologia de superfície e em modelagem de escoamento superficial e de erosão hídrica (HUDSON, 1995).

Desse modo, o manejo do solo diferencia-se principalmente pelo tipo de preparo mecânico nele realizado. Os mais conhecidos são o preparo convencional, considerado não conservacionista de solo, realizado com operações de arado e grade; o cultivo mínimo ou preparo reduzido, considerado conservacionista, realizado normalmente com escarificador, ou, combinação de escarificador e grade; e a semeadura direta, também considerada conservacionista, a qual é realizada sem o prévio preparo do solo, mas com abertura de sulco na linha de semeadura (ASAE, 1982).

Os preparos de solo conservacionistas, especialmente aqueles realizados por meio de escarificadores, ou pela combinação de escarificadores e gradagens (cultivo mínimo ou preparo reduzido), pouco revolvem o solo. Isto resulta em maior rugosidade e cobertura superficial do solo em comparação ao preparo convencional, por exemplo, e em menor cobertura, mas, com maior rugosidade do que a semeadura direta, por exemplo (RAMOS et al. 2014). Além disso, o cultivo mínimo pode apresentar algumas vantagens quanto aos custos operacionais e, principalmente, grandes vantagens quanto aos benefícios conferidos à infiltração de água, comparado ao preparo convencional (CAMARA; KLEIN, 2005).

O preparo convencional do solo consiste no revolvimento da camada superficial, devido às operações de arado e grade, combinadas. Ao revolver o solo com esses equipamentos, desagrega-se o solo, facilitando assim o arraste de partículas e nutrientes pela ação da chuva e do vento. A adoção deste tipo de manejo implica também na compactação sub superficial do solo, resultando numa camada popularmente conhecida como “pé-de-arado” ou “pé-de-grade”. Com a compactação desta camada, limita-se a infiltração de água no solo, saturando-se rapidamente a fina camada superficial preparada, antecipando assim o início de escoamento superficial, culminando com aumento da erosão hídrica pluvial do solo (PANACHUKI et al., 2011).

Diferentemente do preparo convencional, na semeadura direta é mantida alta infiltração de água no solo, apesar da redução na rugosidade devido à ausência de preparo. Tal benefício é conferido com a preservação e acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo, os quais têm por principal função proteger o solo e dissipar a energia cinética das gotas de chuva e, em parte, do escoamento superficial. A capacidade de desagregação e transporte de sedimentos,

proporcionada pela chuva e escoamento superficial, é reduzida com a presença dos resíduos culturais na superfície do solo (FOSTER et al., 1982).

Por outro lado, ao longo do tempo, a semeadura direta promove o aumento da densidade e a conseqüente redução da porosidade superficial do solo (BERTOL et al., 2004). Em contrapartida, esta consolidação, proporcionada naturalmente por este tipo de manejo, implica em aumento na estabilidade dos agregados, conferindo ao solo maior resistência ao sulcamento e à erosão hídrica (FOSTER et al., 1982).

Os resíduos culturais, presentes na superfície do solo, desempenham uma importante função quanto ao controle da erosão hídrica. O material residual na superfície serve como barreira física, tanto na proteção contra o impacto das gotas quanto contra o fluxo superficial de água. Esta barreira natural ainda aprisiona as partículas de solo, que estão em suspensão no fluxo e força a deposição, uma vez que, na presença dos resíduos, eleva-se a tortuosidade do fluxo e reduz-se a energia cinética do escoamento (BRAIDA, 1994). A diminuição de velocidade do escoamento faz aumentar o tempo de permanência da água na superfície e, com isso, aumenta a infiltração de água no solo e diminui o volume de escoamento superficial e conseqüentemente, a erosão hídrica.

Na semeadura direta, a redução do escoamento superficial, bem como da erosão hídrica, são efeitos proporcionados pela cobertura da superfície. No entanto, e, apesar dos benefícios, essa forma de manejo por si só não é suficientemente capaz de conter amplamente o escoamento superficial, e tampouco, a erosão hídrica (BERTOL et al., 2007). O volume de escoamento gerado com os eventos de chuva crítica, em geral, é alto pois, após o solo ter superado o limite de capacidade de infiltração a maior parte da chuva escoar. Assim, o escoamento proveniente destas áreas, quando associada a longos comprimentos de rampa e/ou declives acentuados, adquire grande volume e velocidade, ou seja, adquire energia cinética suficiente para remover o resíduo cultural e erodir o solo, mesmo na ausência de preparo mecânico (FOSTER et al., 1982).

A falsa ideia de que a semeadura direta dispensa a utilização de práticas complementares de conservação do solo, como o terraceamento, por exemplo, vem sendo contrariada. As práticas conservacionistas de suporte, em especial o terraceamento, têm por objetivo principal reduzir a ação erosiva do escoamento superficial e são complementares às práticas conservacionistas básicas, em especial a cobertura superficial.

As fases da erosão hídrica pluvial do solo são compostas pela desagregação, transporte e deposição, influenciadas pela erosividade das chuvas associada à enxurrada, pela erodibilidade do solo, pelo relevo, pela cobertura e manejo do solo e pelas práticas

conservacionistas de suporte (HUDSON, 1995). Portanto, toda e qualquer prática que exponha o solo à ação dos agentes erosivos, ou que, de alguma forma, venha a fragilizá-lo, trará reflexos que culminam para o aumento da erosão do solo.

A atividade antrópica, principalmente nas áreas agrícolas, implica em modificações na estrutura da camada preparada de solo, tais como o adensamento ou o afrouxamento da camada superficial e sub superficial. Desta forma, o espaço poroso total também será alterado, e a sua proporção será dependente de fatores como o tipo de solo, teor de água no solo no momento do preparo e, além disso, da intensidade de preparo (ALLMARAS et al., 1966).

A degradação física do solo, resultante das ações antrópicas, acelera e facilita a erosão hídrica, a qual é responsável por grandes perdas de solo e água. A enxurrada proveniente destas áreas, pode também transportar nutrientes e pesticidas, resultando, entre outros problemas, na eutrofização e contaminação das águas superficiais e na degradação química e biológica do solo. O acelerado processo de erosão hídrica tem se tornado um problema cada vez mais intenso, implicando inclusive em desertificações das áreas (HARE et al., 1992).

A cobertura e o manejo do solo afetam diretamente a rugosidade, a porosidade e a densidade do solo, e desta forma, influenciam a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento superficial de água. Além disso, uma boa cobertura vegetal oferece proteção ao solo, dissipando a energia cinética das gotas de chuva e intervindo na principal fase do processo erosivo, a desagregação (ELLISON, 1947 e HUDSON, 1995).

Determinados tipos de preparo do solo elevam a rugosidade superficial, a qual é afetada pelo tipo de cultivo anterior, tipo de solo, teor de água no momento do preparo, tipo de equipamento e método de preparo. Estas operações de preparo elevam o espaço poroso da camada preparada, influenciando diretamente no aumento da infiltração e na redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, na erosão hídrica (BERTOL et al., 2008).

As perdas serão ainda maiores, quando os solos estiverem compactados, ou, quando submetidos à operações de preparo que reduzam a rugosidade superficial do solo, implicando diretamente na infiltração de água. A infiltração de água no solo, é a determinação que melhor reflete a qualidade física dos solos (CABEDA, 1984 e SANTOS et al., 2018), sendo mais importante que o tipo de solo, declividade, umidade ou outras características do solo, no que diz respeito a erosão hídrica pluvial (ROTH et al, 1985).

### 3.1.3 Tempo de retorno

De acordo com Villela e Mattos (1975), o tempo de retorno, aplicado à área de meteorologia, representa a frequência de ocorrência de determinados eventos pluviométricos, especificada quantitativamente pelo período médio de tempo na qual a mesma será igualada ou superada em magnitude. Também, segundo Righeto (1998), é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado, pelo menos uma vez dentro do período considerado, sendo um parâmetro fundamental na elaboração de projetos de sistemas hídricos como reservatórios, canais, vertedores, bueiros e galerias de águas pluviais.

Ademais, Tucci et al. (1993) afirma que o tempo de retorno e a distribuição das chuvas no tempo, são essenciais ao planejamento de obras mecânicas de controle do escoamento superficial e da erosão hídrica pluvial do solo. A estimativa do período de retorno referente às perdas de água ou às perdas de solo nos sistemas agrícolas, juntamente à probabilidade de ocorrência dos eventos, permitem estabelecer previsões da frequência com que as predições de perdas serão superadas ou igualadas.

Desta forma, e sabendo-se da relevância que os eventos de grande magnitude detêm no cenário agrícola, percebe-se a necessidade da determinação dos referidos tempos de retorno, para que as atividades e planejamentos tenham o amparo necessário, atentando-se para os eventos extremos baseados em observações de dados históricos.

## 3.2 HIPÓTESES

As hipóteses deste estudo são:

- a) o coeficiente de escoamento é menor na semeadura direta do que no preparo reduzido e, neste, menor do que no preparo convencional, devido à influência do preparo do solo nos atributos físicos e na infiltração de água no solo;
- b) para um mesmo tempo de retorno, as perdas de solo e água e o coeficiente de enxurrada são menores na semeadura direta do que no preparo reduzido e, neste, menores do que no preparo convencional; por outro lado, para um mesmo valor de coeficiente de escoamento e de perdas de solo e água, o tempo de retorno aumenta do solo descoberto para a semeadura direta.

### 3.3 OBJETIVOS

#### 3.3.1 Objetivo Geral

Analisar o escoamento superficial, o coeficiente de escoamento e as perdas de água e solo em diferentes tipos de manejo de solo, utilizando uma série de 25 anos de dados.

#### 3.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) estudar o escoamento superficial e as perdas de água e solo e determinar o coeficiente de escoamento e o período de retorno para as perdas de água e solo e para o coeficiente de escoamento, em três tipos de manejo de um Cambissolo Húmico, com uma série histórica de 25 anos;
- b) identificar na série de dados de 25 anos, as perdas individuais e anuais máximas de solo e água e o máximo coeficiente de escoamento, elenca-las hierarquicamente conforme a magnitude e estabelecer os respectivos tempos de retorno.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

A área utilizada como fonte dos dados de perdas de solo e água, está situada nas dependências do Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages (CAV), na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) - localizado entre as coordenadas 27° 49' S e 50° 20' W, a 923 m de altitude, na região do Planalto Sul Catarinense. O clima da região é caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, com verões amenos, do tipo Cfb, segundo classificação de Köppen, com temperatura máxima média anual de 21,7°C e mínima média anual de 11,5°C. A precipitação média anual é de 1.533 mm (SCHICK, 2014). A área experimental, instalada e em andamento desde 1988, vem sendo conduzida sob condições de chuva natural para avaliar a erosão hídrica sobre um Cambissolo Húmico alumínico léptico, de textura argilosa, classificado por Guadagnin (2003), segundo critérios da EMBRAPA (2013), com substrato composto de siltitos e argilitos da formação Rio do Rastro, com declividade média de 0,102 m m<sup>-1</sup>.

Após ter estado com vegetação de gramíneas nativas, a área foi utilizada com pastagem cultivada em consórcio de gramíneas e leguminosas por um período de quatro anos. Nessa

situação implantou-se o experimento para o estudo da erosão hídrica, em condições de chuva natural (1988). Para a correção da acidez do solo, foi aplicado nessa época calcário dolomítico na dose  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o qual foi incorporado à massa de solo através de duas arações e duas gradagens (SCHICK, 2014).

Após a correção do solo, instalou-se as parcelas experimentais e iniciaram-se os estudos da erosão hídrica, em novembro de 1988. Durante o período de novembro de 1991 a outubro de 1992, o experimento ficou em pousio e na ausência de avaliações, reiniciando-se os estudos em outubro de 1992, após preparação e reinstalação do experimento, obedecendo a mesma disposição original de tratamentos. Na reinstalação, foi feita uma nova correção com calcário dolomítico na dose de  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , elevando-se o pH para 6,0 e utilizando-se uma aração mais duas gradagens para a incorporação do corretivo.

Uma nova correção de acidez foi feita em março de 2012, utilizando doses específicas para cada tratamento, com base na interpretação para elevar o potencial hidrogeniônico em água para 6,0. A incorporação do corretivo foi realizada utilizando-se uma aração mais duas gradagens, para o preparo convencional; uma escarificação mais uma gradagem, para o preparo reduzido; uma gradagem, para o sistema de semeadura direta e o tratamento de solo sem cultivo, permanecendo sem o processo de calagem. As espécies cultivadas em sistema de rotação de culturas, durante o período de avaliações foram; milho, feijão e soja, como culturas de verão e aveia-preta, ervilhaca, nabo-forrageiro, e algumas vezes trigo, como culturas de inverno.

O experimento vem sendo conduzido em unidades experimentais, ou parcelas, com dimensões de  $22,1 \times 3,5 \text{ m}$ , totalizando  $77,35 \text{ m}^2$  cada uma. A parcela é delimitada na extremidade lateral e superior, por chapas galvanizadas de  $2 \times 0,2 \text{ m}$  cravadas no solo e, na extremidade inferior, por uma calha coletora, acoplada a um sistema coletor de enxurrada, composto por tubulação de policloreto de vinila (PVC) e dois tanques com capacidade de 750 l cada. Um primeiro tanque coletor, com a finalidade de sedimentação, conectado a um segundo tanque de armazenagem, através de um divisor de enxurrada do tipo “Geib”. Este tipo de divisor permite a passagem de 1/9 da enxurrada do primeiro para o segundo tanque (Figura 9).

As determinações de perdas de solo e água por erosão hídrica, foram obtidas a partir de três sistemas de preparo do solo com cultivo, além de um tratamento adicional na ausência de cultivo, em duas repetições de campo, totalizando oito parcelas, distribuídas ao acaso conforme descrição a seguir:

- a) semeadura direta (SD); solo sem preparo mecânico antecedendo os cultivos.

- b) preparo reduzido (PR); solo preparado mecanicamente com uma escarificação mais uma gradagem, duas vezes ao ano, antecedendo os cultivos.
- c) preparo convencional (PC); solo preparado mecanicamente com uma aração mais duas gradagens, duas vezes ao ano, antecedendo os cultivos.
- d) solo sem cultivo e sem cobertura vegetal (SC); preparado mecanicamente com uma aração mais duas gradagens, duas vezes ao ano, sendo a superfície do solo mantida permanentemente livre de vegetação por meio de capinas e desprovida de crosta superficial com o uso de escarificadores manuais (parcela padrão, como preconizada pelo modelo Universal Soil Loss Equation - USLE).

Após a ocorrência de cada evento de chuva erosiva, foram registradas as alturas do escoamento dentro dos tanques, com o objetivo de mensurar o volume de acordo com a metodologia proposta por Cogo (1978). O volume total de água do escoamento, permitiu a obtenção das perdas totais ocorridas em cada chuva. O critério que definiu as chuvas erosivas durante o período de avaliações, foi o proposto por Wischmeier e Smith (1958), modificado por Cabeda (1976), o qual considera como erosivas, chuvas de altura igual ou superior a 10 mm e, ainda, aquelas com altura igual ou superior a 6 mm num intervalo de tempo menor ou igual a 15 minutos.

Para obter os dados deste item da pesquisa, considerou-se os valores de perdas de água, obtidos de acordo com a metodologia recomendada para este tipo de pesquisa (COGO, 1978), além do coeficiente de escoamento proveniente do experimento em questão. Os dois períodos nos quais os dados foram estudados foram, um entre os anos de 1989 e 1991 e, outro, entre 1993 e 2014, totalizando uma série de dados de 25 anos, com 1.014 eventos de coleta de dados a campo.

O coeficiente de escoamento (C) foi obtido por meio da razão entre a altura total de escoamento superficial e a altura total de chuva, calculado para cada evento de coleta de dados conforme a equação a seguir.

$$C = \frac{\text{lâmina total de escoamento (mm)}}{\text{lâmina total de chuva (mm)}} \quad (20)$$

Os dados de perdas foram agrupados anualmente, de acordo com o tipo de cultivo para os quatro tratamentos, e comparados usando estatística descritiva, incluindo as medidas de dispersão (desvio e erro padrão), tendência central (média e mediana), representados por gráficos do tipo “box plot”.



Figura 9 – Figura 9.i: vista em perspectiva da área experimental; Figura 9.ii: registro do momento de quantificação do volume de escoamento e coleta de amostras.



Fonte: Figura i: Schick, J., (2000); Figura ii: Acervo Laboratório de Uso e Conservação do Solo – CAV/UDESC).

Calculou-se o tempo de retorno e a probabilidade de ocorrência do volume máximo de escoamento, das perdas máximas de solo e do coeficiente máximo de escoamento, para cada tratamento, utilizando-se o método da Califórnia, descrito pelas seguintes equações:

$$Tr = \frac{(N)}{m} \quad (21)$$

$$P = \frac{100}{Tr}, \text{ onde:} \quad (22)$$

*Tr*: tempo de retorno (ano);

*N*: número de anos de registro de dados;

*m*: número de ordem na série decrescente;

*P*: probabilidade de ocorrência (%).

A estimativa do tempo para o retorno e da probabilidade de ocorrência para os valores de máximo volume de escoamento, das perdas máximas de solo e de máximo coeficiente de escoamento, poderão ser utilizados no planejamento de obras hidráulicas rurais destinadas ao controle da erosão hídrica nos diversos tipos de manejo do solo estudados na pesquisa.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Escoamento superficial e coeficiente de escoamento

A estatística descritiva do coeficiente de escoamento (*C*) calculado para o período de 1989-1991/1993-2014, totalizando 25 anos de coleta de dados, encontra-se na Tabela 12, especificada para cada um dos quatro tratamentos. Durante esse período, foram armazenados 1.014 conjuntos de dados, referentes às coletas realizadas em campo, obtidos conforme as descrições presentes no item 3.4. O *C* variou entre um máximo de 0,77 para o tratamento de semeadura direta (SD) até um valor máximo de 0,98, alcançado pelo tratamento de solo sem cultivo e sem cobertura (SC).

O valor de *C* calculado para o período, em diversas ocasiões de chuvas consideradas erosivas, apresentou-se como nulo, à exceção do tratamento SC, que, por sua vez, na incidência da menor altura de chuva erosiva, apontou um *C* com valor de 0,0004. A ausência de escoamento superficial, observada frequentemente em eventos de precipitação de baixa erosividade, se deveu, presumivelmente, à ocorrência de eventos de chuva sucedendo períodos de estiagem considerável. Nessas condições, nas quais o solo encontrava-se com alto potencial matricial, o mesmo promoveu elevadas taxas de infiltração de água.

Os resultados de dispersão da análise estatística descritiva (desvio e erro padrão), também presentes na Tabela 12, demonstram que, à medida que o sistema de manejo do solo distanciava-se dos pressupostos conservacionistas, ou seja, da semeadura direta (SD) para o

preparo convencional (PC), aumentava a dispersão de pontos devido à maior amplitude entre os valores máximos e mínimos. O tratamento SD expressou os menores valores de C, seguido dos tratamentos de PR, PC e SC.

Analisando os resultados da estatística descritiva, na forma gráfica do tipo “box plot” (Figura 10), é possível perceber a distribuição dos dados em torno da média. Os tratamentos SD e PR, resultaram em valores médios centralizados fora do 3º quartil, enquanto os tratamentos PC e SC apresentaram valores médios localizados dentro do 3º quartil. Esse tipo de posicionamento do valor médio em relação ao quartil, indica que a maioria dos eventos, pelo menos 75% deles, foi de magnitude inferior à média, ou seja, menos de 75% dos eventos de precipitação pluviométrica provocaram escoamento superficial suficiente para superar o valor médio de C.

Tabela 12 - Estatística descritiva do coeficiente de escoamento, calculado para os quatro tratamentos para o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).

	SD	PR	PC	SC
Média individual	0,05	0,08	0,13	0,25
Mediana	0,005	0,008	0,020	0,140
Desvio padrão	0,11	0,15	0,2	0,27
Erro padrão	0,003	0,005	0,007	0,008
Mínimo	0,000	0,000	0,000	0,0004
Máximo	0,760	0,950	0,950	0,980
1º Quartil	0,003	0,004	0,006	0,017
3º Quartil	0,020	0,070	0,180	0,420
Total observações	1014	1014	1014	1014

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura.

O posicionamento dos valores médios, plotados no gráfico, para os tratamentos PR e SC, estão inseridos entre o segundo (mediana) e o 3º quartil, indicando que grande parte dos procedimentos de coleta de dados resultou em C semelhante ao valor médio. Em outras palavras, a disposição dos resultados de tendência central refletiu os resultados do maior volume de escoamento superficial quantificado nos dois tratamentos em comparação à SD e ao PR. O C do tratamento SC resultou num valor médio 1,83 vezes superior ao do tratamento PC.

Comparando os valores médios, entre os tratamentos com cultivo, percebe-se um C para o PC, 1,7 e 2,9 vezes superior aos dos tratamentos PR e SD, respectivamente.

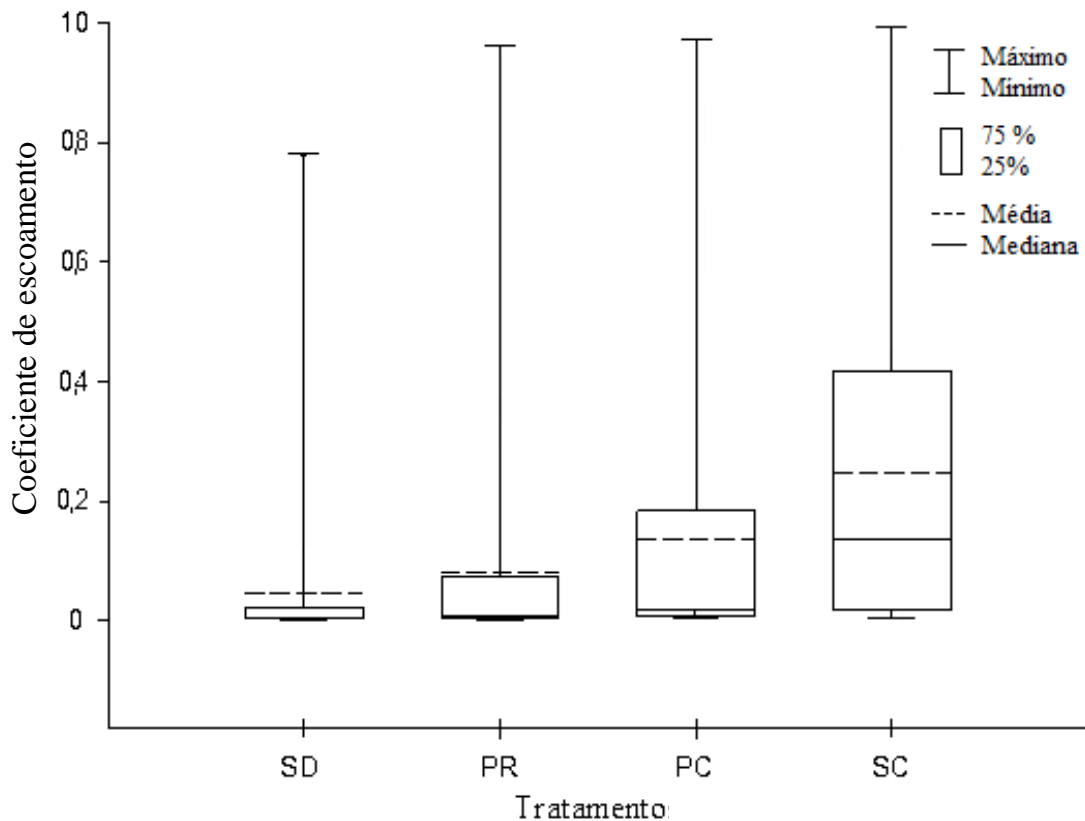
Os valores mensais médios do C, calculados para os quatro tratamentos com cultivo do solo, encontram-se no Anexo A. Os maiores valores seguiram a mesma tendência de crescimento, ou seja, aumentado do sistema de manejo de solo mais conservador (SD) para o menos conservador (PC), independentemente do mês. Esta tendência confirma a maior eficiência do tratamento conservacionista SD, no controle do escoamento superficial, quando comparado aos demais tratamentos de manejo do solo.

O tratamento SD, o qual detém os menores valores de C, apresentou o menor valor médio, 0,01 para o mês de março e o maior coeficiente, 0,09 para o mês de maio. Avaliando a distribuição dos valores médios mensais de C para os tratamentos PR e PC, identificou-se que os máximos e mínimos coincidiram com os meses de ocorrência, apresentados pelo tratamento SD, à exceção do tratamento SC que apresentou o menor valor para o mês de dezembro (0,15) e, o maior, no mês de outubro (0,31).

O tratamento SD foi o que apresentou a maior amplitude de C, em se tratando de média mensal, sendo que o maior coeficiente foi 7,1 vezes maior que o menor. A segunda maior amplitude de valores foi observada no tratamento PR, com o maior valor sendo 5,6 vezes maior que o menor, seguido pelos tratamentos PC e SC, com diferenças de 3,4 e 2,1 vezes entre os maiores e os menores valores de C, respectivamente. Estes resultados comprovam os argumentos de que os sistemas de manejo conservacionista de solo, devido a presença de cobertura do solo, favorecem a infiltração de água e, conseqüentemente, reduzem o escoamento superficial (COGO, 2003).

As maiores amplitudes de valores de C, observadas nos tratamentos com características conservacionistas (SD e PR), resultam da maior eficiência destes tipos de manejo no controle da erosão do solo. Em outras palavras, os tratamentos conservacionistas resistem mais ao escoamento superficial do que os não conservacionistas, em grande parte dos eventos de baixa e média erosividade. De um modo geral, os menores valores de C resultaram da maior capacidade desses tratamentos de manejo do solo em absorver água por meio de infiltração, em comparação aos sistemas convencionais de manejo, para grande parte dos eventos de chuva. Além disso, nos sistemas conservacionistas, devido às características do solo, somadas aos benefícios conferidos pela cobertura superficial pelos resíduos culturais, conferira a eles menor susceptibilidade à ação dos agentes erosivos.

Figura 10 - Coeficientes de escoamento (C) calculados para os quatro tratamentos, para o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

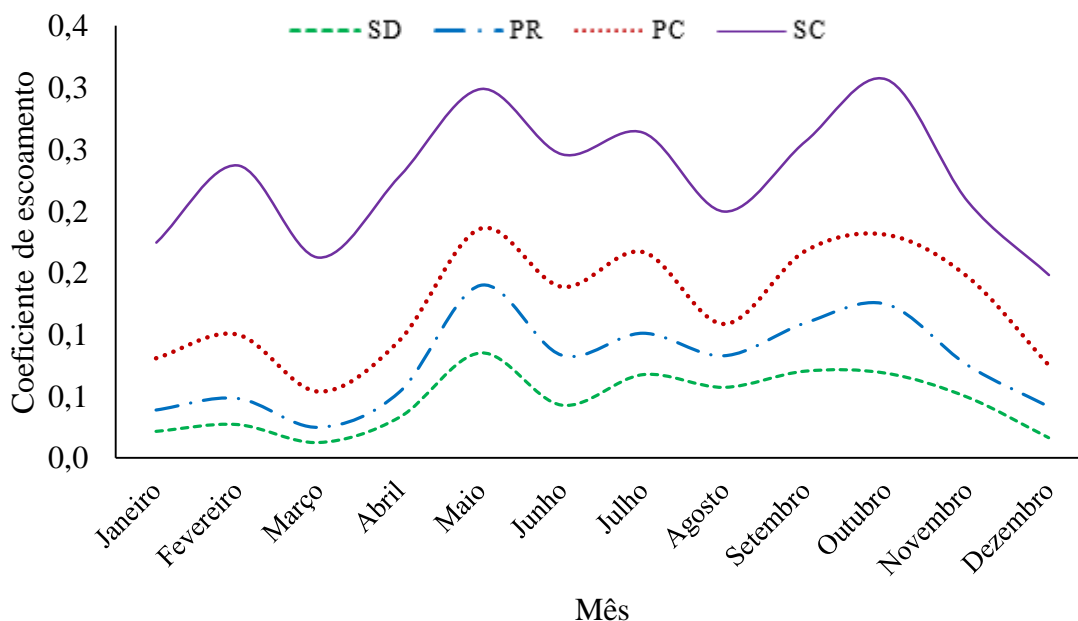
Avaliando a distribuição dos valores médios de C para os meses do ano, percebe-se o mesmo comportamento já descrito anteriormente, onde o C aumentou seu valor quando se passou do tratamento conservacionista SD para o também conservacionista PR, e, assim, sucessivamente até o tratamento convencional PC. Tal comportamento pode ser visualizado na Figura 11, por meio da sobreposição das curvas desenhadas de acordo com o decorrer dos meses do ano.

Examinando o comportamento das curvas do C (Figura 11), percebem-se determinados acréscimos de valores de coeficiente ao longo dos meses do ano. Esta elevação de valores ocorreu em todos os tratamentos, podendo-se inferir algumas possíveis causas. A primeira delas, diz respeito ao regime de chuvas que, a partir de sucessivos eventos de precipitação pluvial elevam o grau de umidade do solo, fato que limitou a infiltração e produziu maiores volumes de escoamento superficial, fato também observado por Beutler et al. (2003) e Shick et al. (2000). A segunda, refere-se aos períodos das precipitações que coincidiria com a menor cobertura do solo pela cultura, ou seja, durante os estágios iniciais e finais do ciclo cultural, e ainda, os períodos que antecederam o estabelecimento das plantas, momento que compreendeu o

preparo do solo. A terceira suposição, refere-se ao efeito combinado das épocas de maior regime de chuvas coincidindo com a menor capacidade dos sistemas de manejo em controlar o escoamento superficial.

De posse dos valores individuais de C, compreendidos no período total de avaliação, identificou-se os máximos valores anuais, os quais encontram-se dispostos no Anexo B. Atentando-se para os valores do referido anexo, novamente observa-se o comportamento de crescimento do C à medida que estes se afastam do tratamento mais conservacionista, SD, para os não conservacionistas PC e SC. Identifica-se, na série de máximos, os valores de C de 0,76; 0,95 e 0,95; para os tratamentos SD, PR e PC, respectivamente, ambos registrados no ano de 2010. O tratamento SC registrou o seu valor máximo no ano de 2005, com um C de 0,98.

Figura 11 - Valores médios do coeficiente de escoamento (C) para os meses do ano, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo A.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

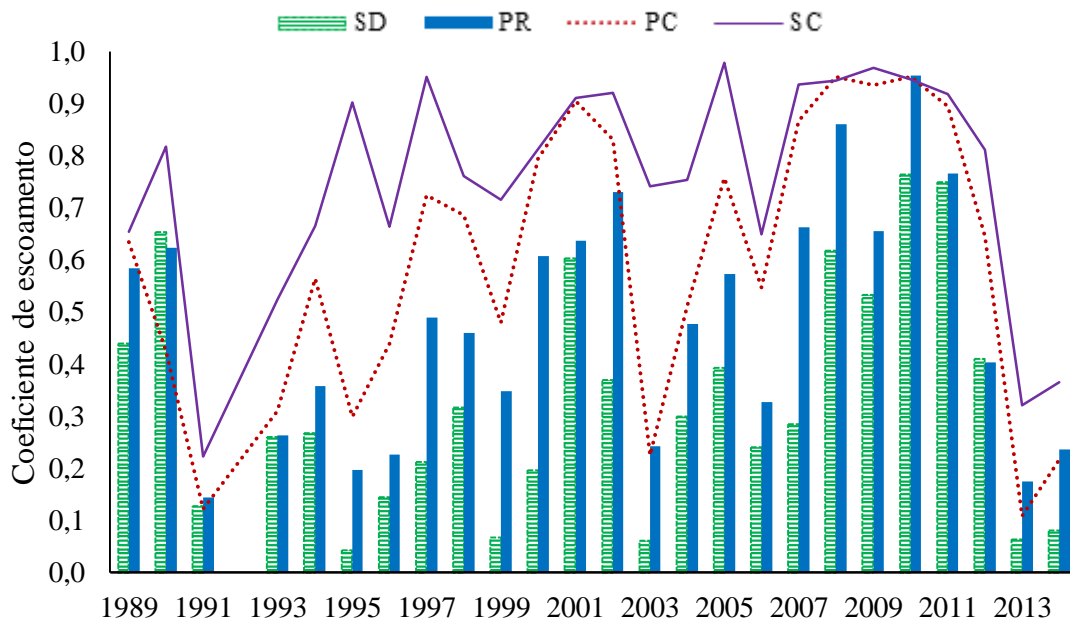
Na Figura 12, onde estão plotados de forma gráfica mista, os valores máximos anuais do C, é possível identificar com maior clareza a disposição dos máximos valores ao longo dos anos da série. Os tratamentos SD e PR, plotados na forma de barras, demonstraram a inferioridade dos valores máximos em quase todos os anos da série, quando comparados ao traçado das linhas que correspondem aos tratamentos PC e SC.

Os valores máximos anuais de C também foram plotados em gráfico do tipo “box plot” com o objetivo de avaliar a variabilidade entre os tratamentos (Figura 13). Observou-se que o



tratamento PC manifestou a maior variabilidade, em decorrência, provavelmente, do efeito de cobertura do solo que, durante o ano agrícola, hora se fez presente favorecendo a infiltração de água no solo e reduzindo a erosão, e hora se fez ausente potencializando a erosão e, com isso, assemelhando-se aos valores encontrados no tratamento SC.

Figura 12 - Valores máximos anuais do coeficiente de escoamento (C), para os quatro tratamentos, observados no período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).

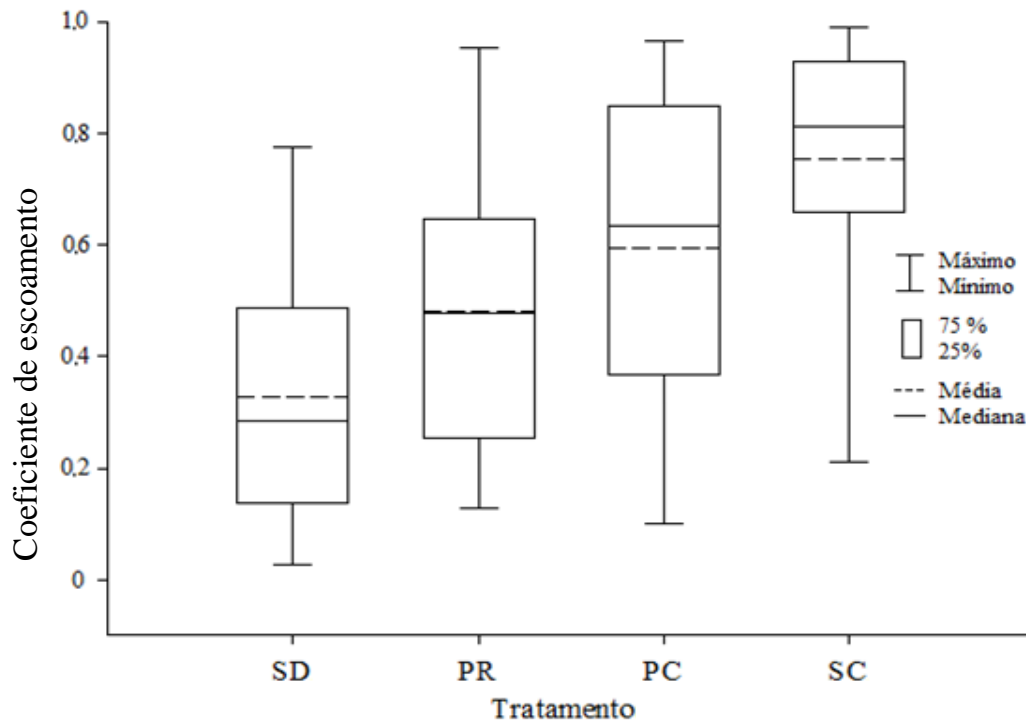


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

A menor variabilidade foi encontrada no tratamento SC, no conjunto de dados, no qual ocorreram os maiores valores de média e de mediana, em comparação aos demais tratamentos. A menor variabilidade de C nesse tratamento refletiu a constante exposição da superfície do solo a ação dos agentes erosivos, com frequente formação de selamento e até de crosta superficial, em decorrência da ausência de cultivos e de cobertura vegetal.

Os tratamentos SD e PR apresentaram média variabilidade comparados com os demais tratamentos. Na SD observou-se também que mais de 75% dos valores máximos foram enquadrados abaixo do valor de 0,50 de C, enquanto no PC, pelo menos 50% dos valores situaram-se acima dos referidos 0,50.

Figura 13 - Valores máximos de coeficiente de escoamento para os quatro tratamentos.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Com o objetivo de identificar quais meses do ano seriam os detentores dos maiores C, os valores máximos mensais foram discretizados e estão apresentados no Anexo C. Houve certa semelhança entre os tratamentos de SD e PR, em que no mês de maio os valores foram respectivamente de 0,76 e 0,95. O tratamento PC registrou, em cinco meses do ano, valores máximos de C superiores a 0,9; o maior valor foi 0,95; identificado nos meses de maio e outubro. O tratamento SC apresentou valores de C superiores a 0,9 em 10 (dez) meses do ano, restando apenas dois meses do ano sem registros desta magnitude.

Os valores máximos de C registrados para cada mês e para cada tratamento foram plotados em gráfico (Figura 14), para facilitar a visualização do comportamento de cada tratamento ao longo dos meses do ano. A SD, como já observado e descrito anteriormente, manteve-se ao longo dos meses do ano com valores inferiores aos demais tratamentos, o que pode ser identificado observando os pontos plotados em gráfico, os quais resultaram num traçado próximo ao centro do gráfico. Para os tratamentos PR, PC e SC, os valores de C distanciaram-se do centro do gráfico à medida que os referidos valores aumentaram, comprovando a gradativa menor eficiência destes tratamentos, do PR para o SC, no controle do escoamento superficial.

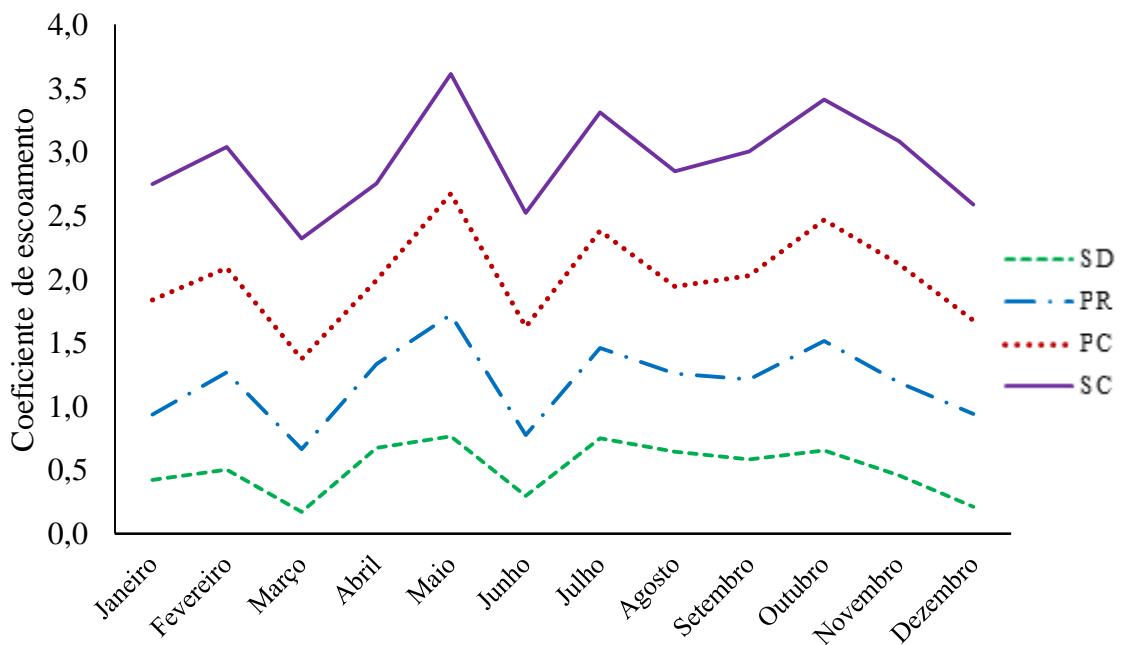
Com o intento de identificar quais cultivos apresentaram maiores valores de C, dentro da série histórica, agrupou-se o conjunto de dados anuais de acordo com os tipos de cultivo. Os



valores médios de cada cultivo foram calculados para cada um dos quatro tratamentos e encontram-se no Anexo D. Ao longo do período de coleta de dados, foram cultivados sete tipos de culturas, descritas no item 3.4, totalizando 50 cultivos em 25 anos. Durante esse período, utilizou-se espécies de verão e inverno, escolhidas em conformidade com o sistema de cultivo adotado, ou seja, de rotação de culturas.

O tratamento SD mais uma vez evidenciou a superioridade em relação aos demais no controle ao escoamento superficial, independentemente do tipo de cultivo. A cultura mais eficiente no controle do escoamento superficial e que resultou no menor valor de C para os tratamentos de SD e PC, foi o trigo, enquanto, para o tratamento de PR o menor valor foi alcançado com o cultivo de feijão. Os maiores valores de C ocorreram durante o cultivo de nabo forrageiro, com 0,13; 0,18 e 0,28 para SD, PR e PC, respectivamente.

Figura 14 - Valores máximos do coeficiente de escoamento (C) para cada mês, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo C.



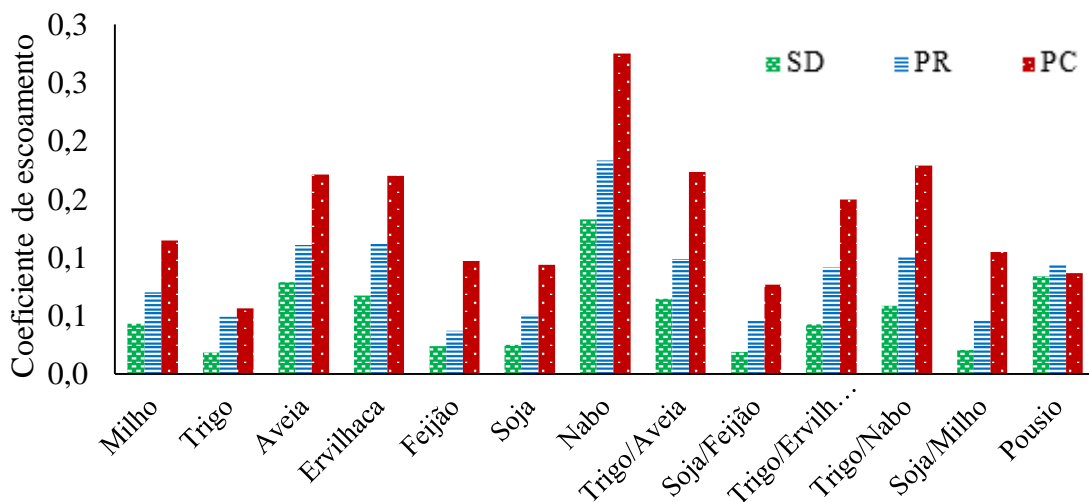
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Ao expressar de forma gráfica os valores de C do Anexo D (Figura 15), evidenciou-se o predomínio dos maiores valores expressos no tratamento PC para todas as culturas, à exceção do período de pousio, quando todos os tratamentos com cultivo do solo encontravam-se sob condições semelhantes em termos de cobertura do solo, resultando em valores similares de coeficiente.

O cultivo do nabo forrageiro, costumeiramente utilizado para produzir cobertura do solo e adubação verde, exibiu valores de C superiores às demais culturas, para todos os tratamentos. Isto se explica pelas suas próprias características, baixa cobertura do solo, arquitetura da planta pouco densa e ciclo vegetativo relativamente curto. Além disso, em parte dos cultivos foi possível identificar uma considerável heterogeneidade de germinação, além de falta de uniformidade no porte das mesmas, fato que deve ter aumentado o escoamento e consequentemente, o valor de C.

Para identificar o cultivo responsável pelo máximo C, bem como, os maiores valores registrados para cada cultura, analisou-se a série para cada tipo de cultura e para cada um dos tratamentos com cultivo (SD, PR e PC), cujos valores estão registrados no Anexo E. Os maiores valores de C foram registrados durante o cultivo de aveia, seguido pelo cultivo de nabo forrageiro, para todos os tratamentos. A aveia forneceu valores máximos de 0,76; 0,95 e 0,95; respectivamente para os tratamentos de SD, PR e SC.

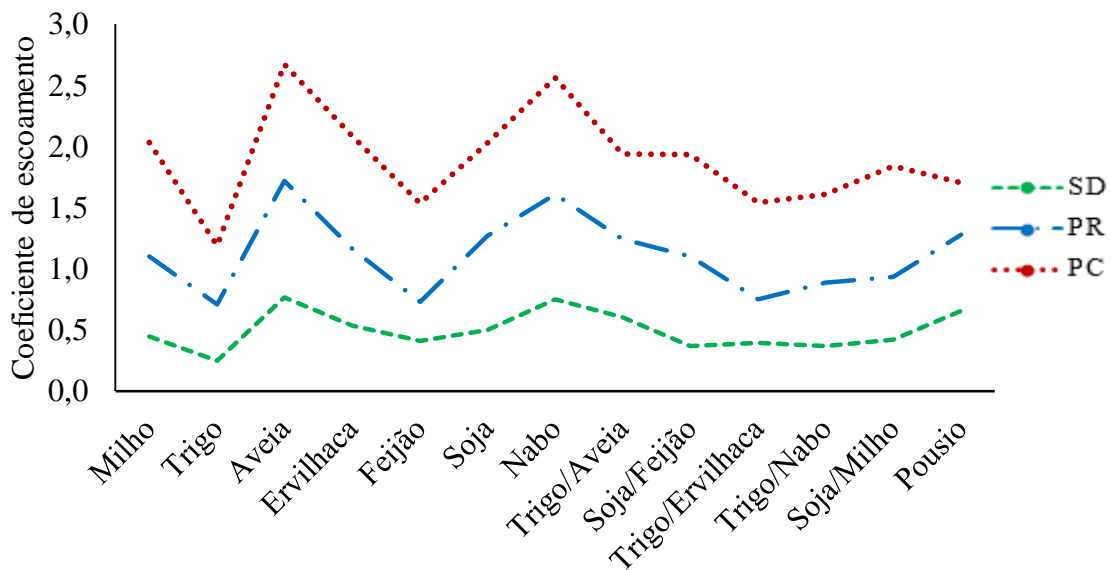
Figura 15 - Valores médios do coeficiente de escoamento (C) de cada cultivo para os quatro tratamentos, de acordo com o Anexo D.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

O registro dos valores de C, para as diversas culturas, poderá contradizer a habilidade natural de determinada cultura para controlar o escoamento superficial. Esta possibilidade se deve à casualidade, de modo que alguns eventos de chuva podem coincidir com períodos de maior exposição do solo à ação das chuvas, normalmente os períodos de estágio inicial e de estágio final do ciclo das culturas. Isto pode ser exemplificado pelos resultados que estão apresentados no Anexo E, e que também estão plotados em gráfico (Figura 16).

Figura 16 - Valores máximos do coeficiente de escoamento (C) para cada tipo de cultivo, nos quatro tratamentos, de acordo com o Anexo E.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

### 3.5.2 Tempo de retorno

Com o objetivo de contribuir e fornecer dados importantes ao planejamento de obras hidráulicas rurais, destinadas ao controle da erosão hídrica, calculou-se as frequências observadas, considerando estas boas estimativas da probabilidade de ocorrência ( $F \cong P$ ), para os valores de máximo volume de escoamento, máxima perda de solo e máximo coeficiente de escoamento para quatro tipos de manejo do solo. Os valores totais das perdas anuais de água por escoamento superficial, para os quatro tratamentos, encontram-se no Anexo F.

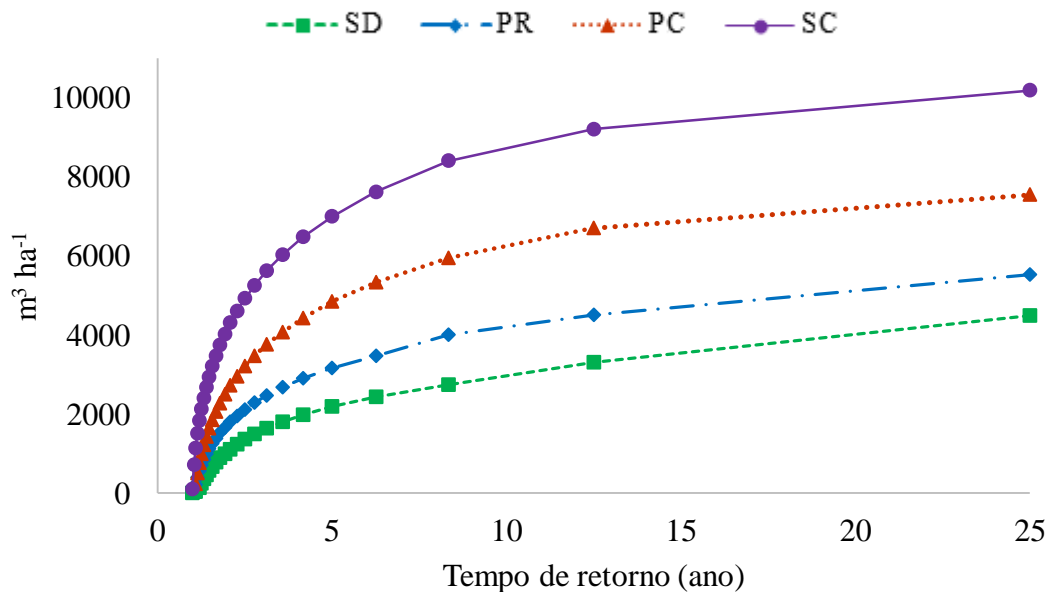
As perdas de água (PA) máximas anuais para os tratamentos SD, PR, PC e SC, foram de 4492; 5517; 7547 e 10184 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores têm a probabilidade de ocorrência de 4%, ou, tempo de retorno de 25 anos. Como exemplo, avaliando o tempo de retorno de 12,5 anos, obtém-se valores anuais de 3208; 4272; 6829 e 8932 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos SD, PR, PC e SC, respectivamente, ambos com a probabilidade de ocorrência de 8%.

O somatório anual das perdas de água por escoamento superficial dos quatro tratamentos, permitiu a construção de um gráfico no qual é possível identificar o comportamento das curvas, que diferem notoriamente quando se aumenta o tempo de retorno em função das perdas de água (Figura 17). Comparando o tratamento SD com o PC, percebe-se uma diferença nos valores de perdas de água, para 1 (ano) de tempo de retorno, de

aproximadamente 68 %, enquanto a diferença para o tempo de retorno de 25 anos cai para 41 %. Esta redução na diferença entre os tratamentos se deve, em parte, às próprias limitações impostas pelo tipo de solo quanto aos limites de capacidade de absorção e armazenamento de água, a partir dos quais, o volume de escoamento tende a se elevar, fazendo com que os tipos de manejo assemelhem-se quanto à significância das perdas (KOHNEKE, 1968).

Os valores das perdas máximas de água, individuais por evento de chuva, registradas no período de 25 anos de coleta de dados, encontram-se no Anexo G. Ao visualizar a referida tabela (Anexo G), percebe-se o mesmo comportamento, já descrito anteriormente, de aumento nos valores quando se parte dos sistemas conservacionistas em direção ao convencional. Os valores máximos de perdas de água, registrados para o período de 25 anos de coleta de dados, variaram de 1017 a 1179  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , para os tratamentos SD e PC, respectivamente. Estes valores máximos representam uma variação de aproximadamente 14 % entre os dois tratamentos, a qual é contrastante do ponto de vista da preservação e conservação.

Figura 17 - Perdas anuais de água em relação ao tempo de retorno, para os quatro tratamentos.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

O tratamento SD, apresentou valores de perdas de água, relativamente altos, quando comparado com os demais tratamentos ditos menos conservacionistas. Este volume considerável de água perdida, remete à insuficiência do sistema semeadura direta no controle das perdas e, conseqüentemente, a prováveis perdas de solo e nutrientes. Ao se utilizar sistemas de manejo conservadores, almejam-se resultados satisfatórios do ponto de vista de controle das

perdas, o que não ocorreu na maioria das situações levando-se a concluir sobre a necessidade da adesão de práticas que auxiliem estes sistemas no controle da erosão.

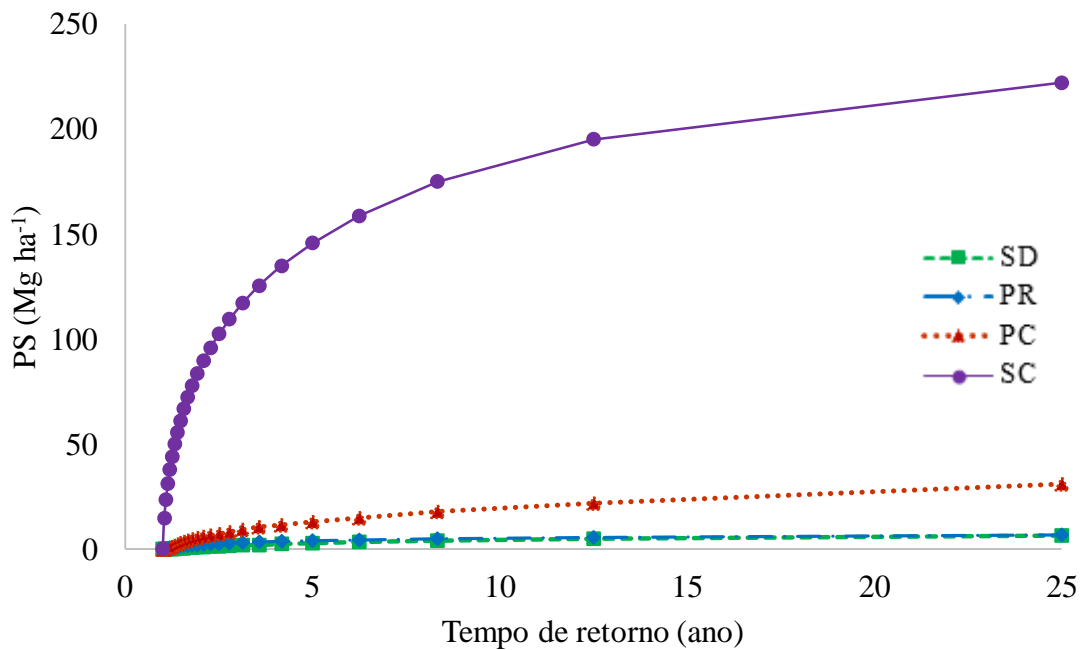
De posse dos valores máximos de perdas de água, registrados no período, torna-se possível prever a ocorrência das referidas perdas, as quais poderão ser utilizadas para planejamentos de contenção, armazenamento ou drenagem de água para as mais variadas obras hidráulicas. A exemplo, utilizando-se o tempo de retorno de 12,5 anos, para o dimensionamento de um terraço agrícola, com declividade semelhante à área experimental, sob os mesmos tipos de manejo de solo deste estudo, bastará que se calcule a secção transversal do canal, com base nos valores de perdas máximas de água de 857; 992 e 1126 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (para SD, PR e PC, respectivamente), simplificando o cálculo, ao dispensar os procedimentos tradicionais de obtenção do volume de escoamento.

Além das tabelas de volume máximo de perda de água com o tempo de retorno de até 25 anos, confeccionou-se também, uma tabela com as perdas de solo para o mesmo período de avaliação. As perdas anuais de solo e as respectivas probabilidades de ocorrência, para o tempo de retorno de até 25 anos, encontram-se no Anexo H, particularizada por tratamento. A massa de solo perdida através do escoamento superficial, para o tratamento SD, totalizou um valor máximo de 6,61 Mg ha<sup>-1</sup> no ano de 1989, enquanto no PC o valor foi de 31 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo um valor 4,7 vezes maior do que o SD.

O tratamento adicional, SC, em que o solo foi mantido sem cultivo e sem cobertura, perdeu uma massa de solo da ordem de 222,3 Mg ha<sup>-1</sup>, em 25 anos, correspondente a uma camada de 16,8 mm no transcorrer do ano de 2014. Perdas de solo desta magnitude, podem ser encontradas em cultivos mais intensos, onde o revolvimento e o preparo constante expõem a superfície do solo à ação dos agentes erosivos.

Com os valores anuais de perda de solo, construiu-se um gráfico (Figura 18) plotando-se os valores em função dos tempos de retorno. Visualizando a disposição das curvas, percebe-se a considerável diferença entre as perdas ocorridas no tratamento SC em comparação aos demais. Esta desigualdade demonstra a grande importância que o cultivo e a cobertura do solo exercem sobre a erosão hídrica, uma vez que neste tratamento o solo permaneceu livre de cobertura, contrariamente à condição em que se encontravam os demais tratamentos.

Figura 18 - Perdas anuais de solo (PS) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os quatro tratamentos.

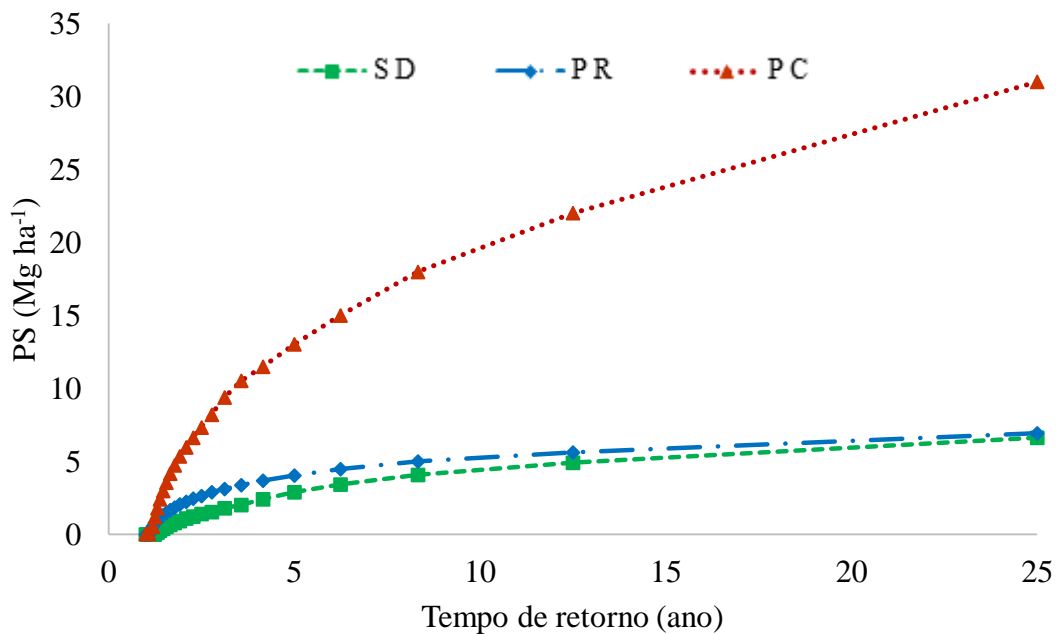


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Com o objetivo de identificar o comportamento das curvas para os tratamentos sob uso agrícola (SD; PR e PC), retirou-se os dados plotados no gráfico (Figura 18), referentes ao tratamento SC, resultando em um novo gráfico representado pela Figura 19. O traçado das curvas assemelhou-se ao da Figura 18, diferindo apenas com relação aos valores do eixo da ordenada que se refere às perdas de solo. Na Figura 19, evidencia-se novamente a ação da cobertura do solo, protagonista na redução das perdas de solo nos tratamentos SD e PR. Em contraponto aos tratamentos conservacionistas, analisando-se o tratamento PC, nota-se o evidente aumento das perdas de solo com o aumento do tempo de retorno, em decorrência, provavelmente, da intermitência de cobertura do solo, uma vez que, em determinadas épocas do ano ela estava pouco presente sobre o solo.

Com os dados de perda de solo, separou-se os máximos valores de perda por evento individual de chuva, discriminados por tratamento (Anexo I). As perdas máximas de solo, registradas nos tratamentos de SD e PR, foram semelhantes entre si, com valores de 4,25 e 4,21 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, referentes a um único evento de chuva. Apesar desses valores serem inferiores aos obtidos nos demais tratamentos, e por se referirem à perdas de um único evento, observa-se que estes valores se aproximam à tolerância de perda para esta classe de solo (9,6 Mg ha<sup>-1</sup>), como preconizara Bertol e Almeida (2000). Este fato é preocupante e sugere que estes sistemas de manejo, não são, por si só, suficientemente capazes de controlar as perdas de solo.

Figura 19 - Perdas de solo (PS) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os tratamentos de semeadura direta (SD), preparo reduzido (PR) e preparo convencional do solo (PC).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Os maiores valores de perda de solo, nos tratamentos PC e SC foram de 13,8 e 41,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores são superiores à tolerância, fato que torna a situação ainda mais preocupante, pois, as perdas obtidas com estes tratamentos foram relativas a um único evento de chuva, enquanto o limite pré-estabelecido diz respeito a perdas totais anuais.

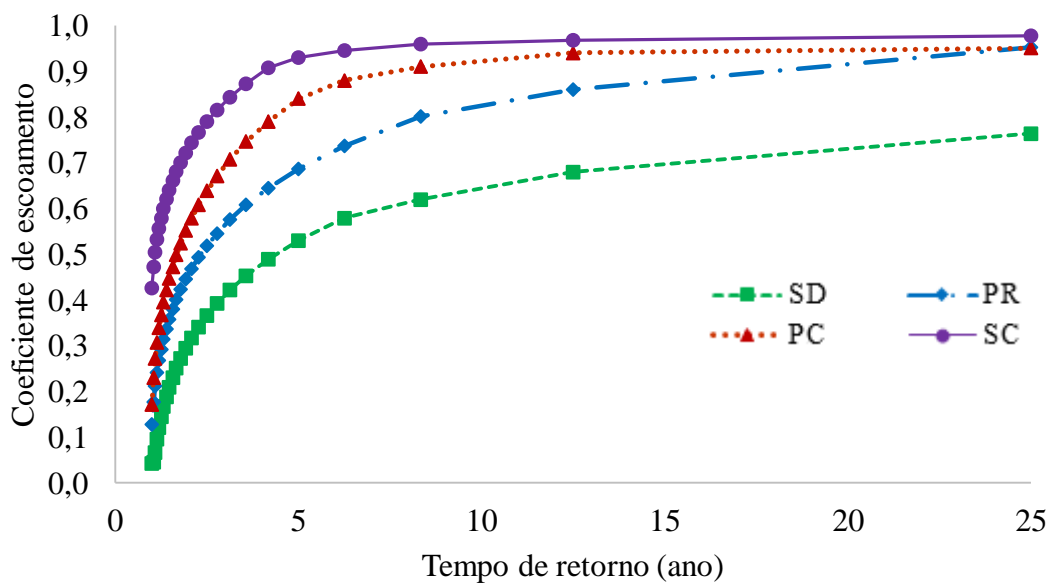
Para cada evento de chuva erosiva, obteve-se o valor de perda de água que foi utilizado para calcular os valores de C (Anexo J), com os valores máximos anuais de C para o tempo de retorno de 25 anos, separados por tipo de manejo do solo. No ano de 2010, foram registrados os valores máximos de C para os tratamentos SD; PR e PC com valores de 0,76; 0,95 e 0,95; respectivamente. Os resultados iguais entre si, para os tratamentos PR e PC, podem ter sido consequência de sucessivos eventos de precipitação, fato que limitou a infiltração de água, aproximando-a da infiltração básica do solo e resultando em valores de C máximo, independentemente do tipo de manejo do solo.

Nos 25 anos de dados, o maior C foi registrado no tratamento SC, com um valor de 0,98 %. Analisando o restante dos valores da série, observa-se que, 40% deles encontra-se com um valor acima de 90 % de escoamento (C acima de 0,90). Em outras palavras, percebe-se que o tratamento SC, por razões já descritas anteriormente, apresenta-se com máximas perdas de água, solo e, conseqüentemente, maiores coeficientes de escoamento.

Plotando-se graficamente os valores de C em relação aos tempos de retorno, presentes no Anexo J, percebe-se com maior clareza o comportamento dos valores máximos a medida que ampliam-se os tempos de retorno (Figura 20). Os tratamentos PR; PC e SC, apresentaram valores semelhantes, diferindo do tratamento SD com valor de 0,76; 19,7% menor do que no PC. A diferença entre estes tratamentos revela a maior capacidade de SD no controle do escoamento que, durante todo o período de estudo, resultou em valores de coeficiente inferiores aos demais tratamentos.

Apesar dos valores de coeficiente de escoamento serem menores no tratamento SD, como observou-se durante os 25 anos deste estudo, percebe-se que os valores das perdas de solo e água ainda são altos, comprovando a incapacidade que o sistema de semeadura direta apresenta, em controlar a totalidade das perdas, ficando ainda mais evidente, a real necessidade da adoção de práticas conservacionistas que venham a auxiliar no controle destas perdas.

Figura 20 – Coeficiente de escoamento (C) em relação aos tempos de retorno (Tr), para os quatro tratamentos.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.



### 3.6 CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo são:

- a) o coeficiente de escoamento (C) é menor na semeadura direta (SD) do que no preparo reduzido (PR), preparo convencional (PC) e solo sem cultivo e sem cobertura (SC), com valores respectivamente de 0,05; 0,08; 0,14 e 0,25;
- b) as perdas anuais máximas de solo e água para o tempo de retorno de 25 anos, são menores na SD do que no PR e, neste, menores do que no PC, cujos valores foram respectivamente de 4492, 5517 e 7547 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, enquanto, as perdas anuais máximas de solo são menores na SD (6,6 Mg ha<sup>-1</sup>), intermediárias no PR e (7,9 Mg ha<sup>-1</sup>) e maiores no PC (31 Mg ha<sup>-1</sup>). O coeficiente máximo de escoamento, para o tempo de retorno de 25 anos é de 0,76; 0,95; 0,95 e 0,98, respectivamente para a SD, PR, PC e SC.



## **4 ESTUDO III - INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO CLIMÁTICA SOBRE AS CHUVAS, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO HÍDRICA**

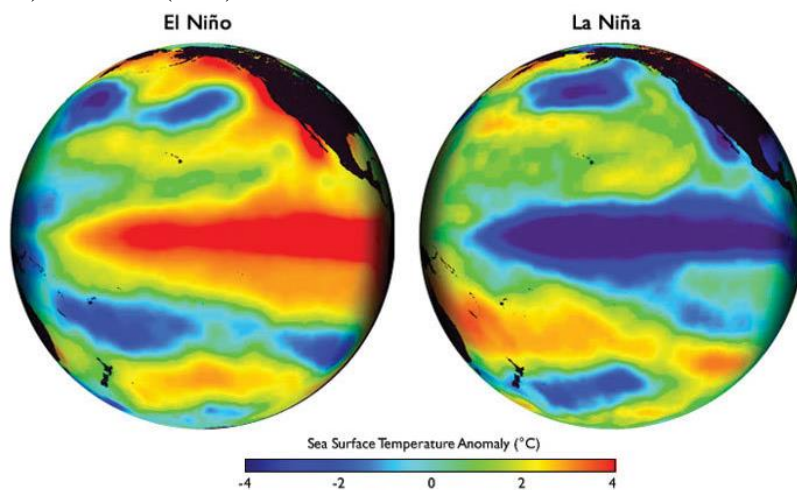
### **4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os fenômenos climáticos, em especial o “El Niño” e a “La Niña”, são perturbações de âmbito global que afetam a circulação atmosférica e interferem severamente nas atividades humanas (CANE, 2001). As circulações atmosféricas são melhor compreendidas ao se considerar, por exemplo, a ação combinada do fenômeno denominado "El Niño" com o fenômeno denominado “Oscilação Sul”. A este conjunto deu-se o nome “ENOS”, ou seja, “El Niño Oscilação Sul”. A Oscilação Sul, documentada por Walker e Bliss (1932, 1937), representa a manifestação da variação anual da circulação das massas e contém dois centros principais de ação: um, localizado sobre a região da Indonésia e norte da Austrália e, outro, sobre a região do Oceano Pacífico Oriental, próximo à costa Oeste da América do Sul. As alterações provocadas por esta combinação de fenômenos, implicam em variações na chuva que é o principal parâmetro meteorológico que influencia as atividades agrícolas, das quais dependem tantas outras que também são afetadas.

As chuvas, de modo geral, são influenciadas pelas convecções, e estas, por sua vez, são intensificadas ou inibidas pela circulação geral da atmosfera. Considerando a magnitude do fenômeno “ENOS”, e, a identificação das anomalias climáticas, é possível identificá-los (El Niño e La Niña) por meio de um índice, denominado “Índice de Oscilação Sul” (IOS). Assim, o IOS, representa a diferença de pressão entre a superfície do Pacífico Central (Taiti) e a superfície do Pacífico Oeste (Darwin/Austrália), no nível do mar. Essa diferença é influenciada pelas mudanças na circulação atmosférica, como consequência do aquecimento ou resfriamento (temperatura da água na superfície do mar – TSM) destas duas regiões (OLIVEIRA, 2001).

Valores de índice de oscilação com sinal positivo representam o aquecimento das águas com consequente aquecimento do ar. Esse ar quente, ao ultrapassar a Cordilheira dos Andes, bloqueia as frentes frias no cone sul do continente e gera chuvas de maior altura e intensidade do que as normais climatológicas, caracterizando a ocorrência de “El Niño”. Valores de índice de oscilação com sinal negativo significam a ocorrência de “La Niña”, devido ao resfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico. A condição normal de temperatura das águas do Oceano Pacífico, com águas quentes na parte oeste e frias na parte leste, configura a ausência de fenômenos e denomina-se de ano Neutro (Tabela 13) (OLIVEIRA, 2001).

Figura 21 - Fases do Fenômeno ENOS. El Niño (esquerda)/fase quente (vermelho); La Niña (direita)/fase fria (azul).



Fonte: <https://iri.columbia.edu>.

Diversos trabalhos comprovam a influência do fenômeno ENOS nas chuvas da Região Sudeste da América do Sul, abrangendo o Sul do Brasil, o Nordeste da Argentina, o Uruguai e o Sul do Paraguai (RAO; HADA, 1990; STUDZINSKI, 1995; DIAZ et al., 1998 e GRIMM et al., 1998). O período de interferência dos fenômenos, para o Sul do Brasil, normalmente se estende do início do segundo semestre de um ano ao final do primeiro semestre do ano seguinte (ROPELEWSKI; HALPERT, 1989 e BERLATO et al., 2005). Essa é a época que coincide, geralmente, com o período das safras agrícolas de primavera-verão, com grandes riscos de exposição do solo às precipitações críticas que ocorrem nessa época (AMADO et al., 2002).

Com a presença desses fenômenos anômalos, devido ao incremento na normal climatológica em relação altura e à intensidade pluviométrica, a intensificação na frequência dos eventos de chuva tem aumentado a preocupação com relação à erosão hídrica do solo. Isto, devido à manutenção de umidade no solo em valores elevados, provocando perdas acentuadas de solo e água, mesmo em eventos de chuva de baixa erosividade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005 e SPOHR et al., 2009).

Considerando a forte influência das anomalias climáticas nas perdas de solo e água por erosão hídrica, evidencia-se a necessidade de maiores informações sobre a predição dos eventos anômalos. Também, evidencia-se a necessidade de maiores cuidados quanto à programação das atividades agrícolas, com base nas épocas de presença dos fenômenos, visando coincidir os períodos de maiores riscos de erosão com os de maior cobertura e proteção do solo.

Tabela 13 - Índices mensais de oscilação de temperatura das águas do Oceano Pacífico entre 1988 e 2017.

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.8	-1.2	-1.2	-1.1	-1.2	-1.4	-1.7	-1.8
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	1.2	1.4
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	-0.1	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.9	1.0
1995	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-0.9
1996	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3	2.3
1998	2.1	1.8	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.7	-1.0	-1.2	-1.2	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3
2002	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2	1.1
2003	0.9	0.7	0.4	0	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3
2004	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7
2005	0.7	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0	-0.1	0	-0.2	-0.5	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.3
2008	-1.4	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3
2010	1.3	1.2	0.9	0.5	0.0	-0.4	-0.9	-1.2	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4
2011	-1.3	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
2012	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2014	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7
2017	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.5							

Fonte: Center for Weather and Climate Prediction – NOAA / National Weather Service, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>.

Vermelho: Anomalia positiva (El Niño – maior ou igual a 0,5 °C); Azul: Anomalia negativa (La Niña – menor ou igual a - 0,5 °C); Preto: Neutralidade; JAN.: Janeiro; FEV.: Fevereiro; MAR.: Março; ABR.: Abril; MAI.: Maio; JUN.: Junho; JUL.: Júlio; AGO.: Agosto; SET.: Setembro; OUT.: Outubro; NOV.: Novembro; DEZ.: Dezembro.

#### 4.2 HIPÓTESE

A ocorrência do fenômeno “El Niño” faz aumentar a altura e índice de erosividade das chuvas, o coeficiente de escoamento e as perdas de solo e água por erosão hídrica, devido ao aumento da altura e intensidade das chuvas e ao limite de infiltração de água no solo.

## 4.3 OBJETIVOS

### 4.3.1 Objetivo Geral

Verificar a influência do El Niño nos dados de perdas de solo e água em Lages, SC, para uma série de 25 anos de dados.

### 4.3.2 Objetivo específico

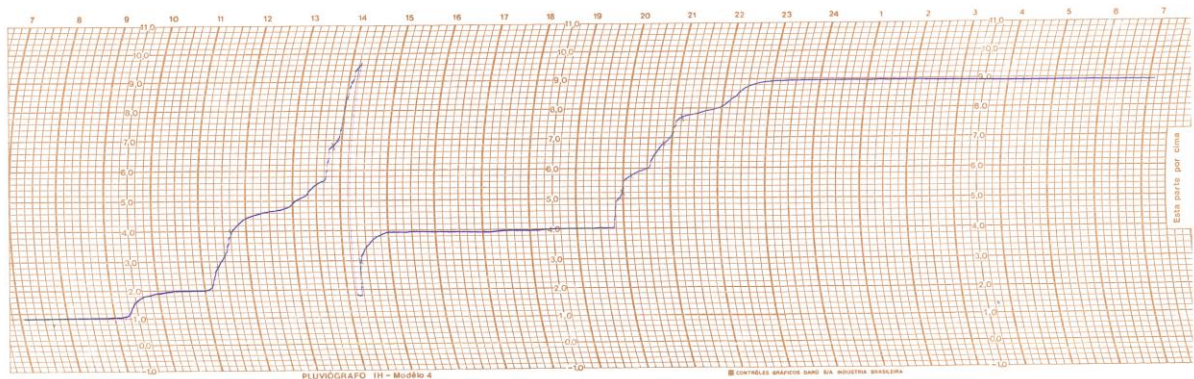
Avaliar a influência do fenômeno El Niño na altura e índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) das chuvas, nas perdas de solo e água e no coeficiente de escoamento para diferentes tipos de manejo do solo em um Cambissolo Húmico.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Avaliou-se a influência dos fenômenos climáticos (El Niño e La Niña), decorrentes de variações climáticas ocorridas durante o período a que se refere a série histórica, sobre a erosividade das chuvas, perdas de solo e água e coeficiente de escoamento. O período total de dados disponíveis para avaliação, 25 anos, foi dividido em três, de acordo com o padrão das condições climáticas do local: período denominado “Neutro”, no qual as condições climáticas foram consideradas normais; período denominado “La Niña”, no qual as condições climáticas favoreceram a ocorrência de chuvas abaixo da média normal, em altura e em intensidade; e período denominado “El Niño”, no qual as condições climáticas favoreceram a ocorrência de chuvas acima da média normal, em altura e em intensidade. Os períodos em que La Niña e El Niño se manifestaram foram identificados utilizando-se os critérios definidos de acordo com a tabela adaptada de NOAA (2009) (Anexo K).

O índice de erosividade das chuvas foi obtido por meio da cotação manual dos pluviogramas diários (Figura 22), ao longo dos 25 anos, os quais foram selecionados de acordo com os critérios definidos por Wischmeier e Smith (1958), modificados por Cabeda (1976). A obtenção dos valores se deu por meio digital, utilizando-se o programa computacional “CHUVEROS”, descrito no item 2.4.

Figura 22 - Registro pluviográfico (pluviograma) característico de uma precipitação hídrica pluvial intensa.



Fonte: Registros pluviográficos do Laboratório de Uso e Conservação do Solo – CAV/UDESC.

Os dados de perdas de solo e água e de coeficiente de escoamento, conforme descrição do item 3.4, foram discretizados de acordo com a ocorrência de um ou de outro fenômeno climáticos, El Niño ou La Niña, para cada um dos quatro tratamentos.

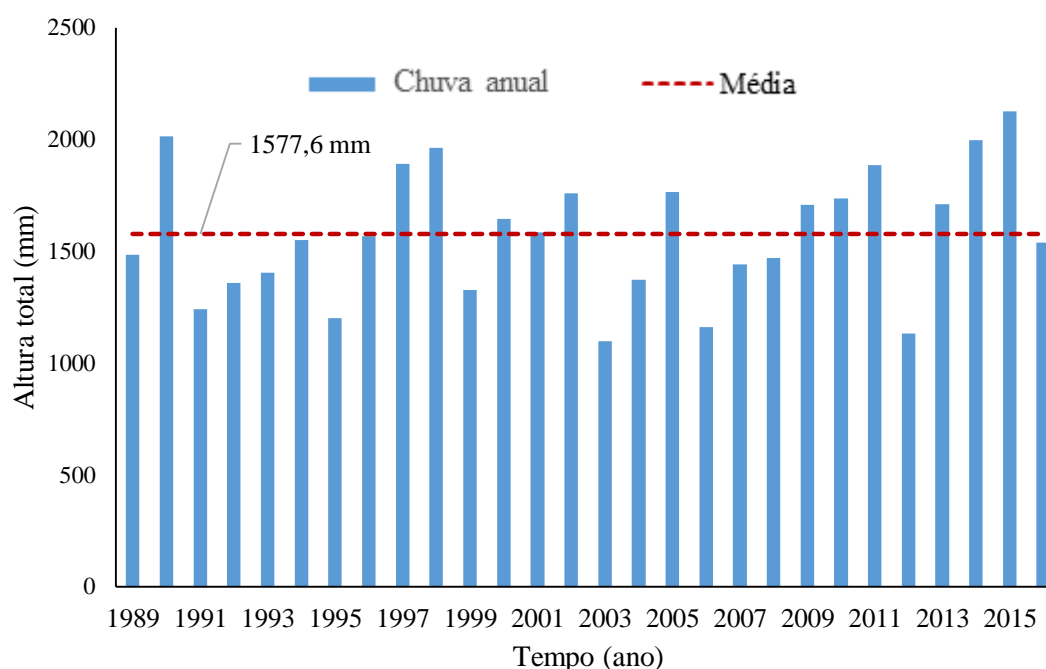
Os resultados da estatística descritiva, para cada conjunto de dados (perdas de solo, perdas de água, coeficiente de escoamento e índice de erosividade -  $EI_{30}$ ) referentes aos períodos climáticos (Neutro, La Niña e El Niño), foram representados por gráficos do tipo “box plot” contendo medidas de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio e erro padrão), com o objetivo de identificar a influência dos fenômenos climáticos.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Influências sobre a altura e o volume das chuvas

Foram analisados 3.262 eventos de chuva, entre os anos de 1989 e 2016, totalizando 28 anos de coleta de dados. Do total das chuvas, 1.384 foram classificados como erosiva, ou seja, 42,4%. Com os valores de altura de chuva anual, calculou-se a média para o período, resultando em 1.578 mm, semelhante portanto, ao obtido por Schick (2014), de 1.533 mm, com a mesma série de dados para o período de tempo de 1989 a 2012. A distribuição das chuvas anuais encontra-se na Figura 23.

Figura 23 - Chuva total anual e valor médio, registrado durante o período de 1989 a 2016 (28 anos).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Os dados de altura de precipitação provenientes do período 1989 – 2016, foram discretizados conforme os períodos climáticos, e submetidos à análise estatística descritiva (Tabela 14). Durante o período estudado, identificou-se 873 eventos de chuva ocorridos no período climático El Niño, 826 eventos ocorridos em períodos de La Niña e 1562 ocorridos durante épocas de neutralidade climática. Os resultados médios de altura de precipitação foram maiores no período de El Niño, seguidos pelo período La Niña e Neutro, com valores de 15,36; 13,21 e 12,86 mm, respectivamente.

Tabela 14 – Estatística descritiva das alturas de chuva, separados por períodos climáticos.

	Neutro	La Niña	El Niño
Média individual (mm)	12,86	13,21	15,36
Mediana (mm)	7,6	8,0	9,0
Desvio padrão (mm)	16,61	15,33	17,78
Erro padrão (mm)	0,42	0,53	0,60
Mínimo (mm)	0,1	0,3	0,2
Máximo (mm)	187,1	117,2	172,0
Total observações	1562	826	873

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.



Os maiores valores de altura de chuva, identificados por meio da análise estatística descritiva, para o período de El Niño, corroboram com os resultados obtidos por Minuzzi, (2010); Grimm, (1998) e Ropelewski e Halpert, (1989), os quais confirmam ser o referido período, o detentor das maiores alturas pluviométricas, principalmente na região sul do Brasil. Os maiores valores obtidos com a série histórica, em termos de altura média de precipitação, reforçam a ideia da necessidade de maiores cuidados quanto ao manejo do solo durante a aparição do fenômeno El Niño, haja vista a sua comprovada superioridade em comparação às alturas de precipitação provenientes de períodos de neutralidade climática.

Com a finalidade de identificar a influência dos fenômenos climáticos sobre o índice de erosividade, decompôs-se a série histórica de dados de chuva, discriminando-os quanto aos períodos climáticos Neutro, La Niña e El Niño. Os resultados da estatística descritiva de cada período climático estão grafados na Tabela 15.

A média do índice de erosividade, para os 25 anos de dados, resultou em 362; 506 e 520 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, para o período Neutro, La Niña e El Niño, respectivamente. A média do índice de erosividade do período Neutro, é 30,45 % menor do que o valor médio do período El Niño. Os valores de mediana também evidenciaram o efeito dos fenômenos, com valores de 271 para o período Neutro, 384 para o período La Niña e 405 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup> para o período El Niño. Os maiores valores de mediana indicam a ocorrência de maior número de eventos de chuva com valores de erosividade elevada durante os episódios de El Niño.

Tabela 15 - Estatística descritiva dos valores mensais do índice de erosividade (EI<sub>30</sub>) expressos em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, separados por período Neutro, La Niña e El Niño.

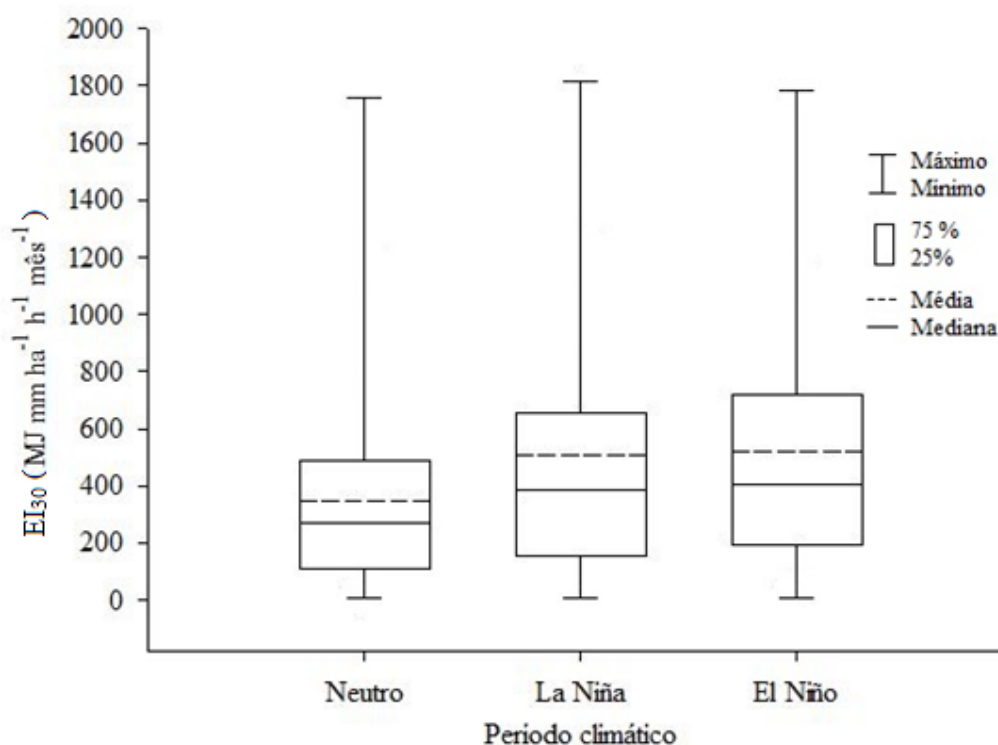
	Neutro	La Niña	El Niño
Média	362	506	520
Mediana	271	384	405
Desvio Padrão	370	431	418
Erro Padrão	30	51	53
Mínimo	0	31	57
Máximo	1751	1806	1795
1º Quartil	24	25	35
3º Quartil	126	154	169
Nº Total de meses	153	72	62

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Com relação aos menores índices de erosividade, observou-se que, para o período Neutro, o valor registrado foi nulo, enquanto no La Niña e El Niño os valores foram de 31 e 57 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>, respectivamente. Este registro de mínimos, leva ao entendimento de que os eventos de chuva sucedidos durante as épocas de La Niña e El Niño contém energia maior do que os eventos ocorridos durante as épocas de neutralidade climática.

Os resultados de EI<sub>30</sub> obtidos para os períodos climáticos, podem ser mais facilmente interpretados por meio do gráfico “box plot” (Figura 24), onde se encontram os valores de máximo, mínimo, média e mediana, calculados para o tempo de duração de cada período climático. O espaço interquartil (1º ao 3º quartil), para os períodos La Niña e El Niño, estão situados numa posição mais avançada no eixo das ordenadas, indicando que a metade dos valores de índice de erosividade (50 %), são de magnitude superior ao interquartil obtido durante os períodos de neutralidade climática.

Figura 24 - Estatística tipo "box plot" do índice de erosividade (EI<sub>30</sub>), calculado para os períodos Neutro, La Niña e El Niño.



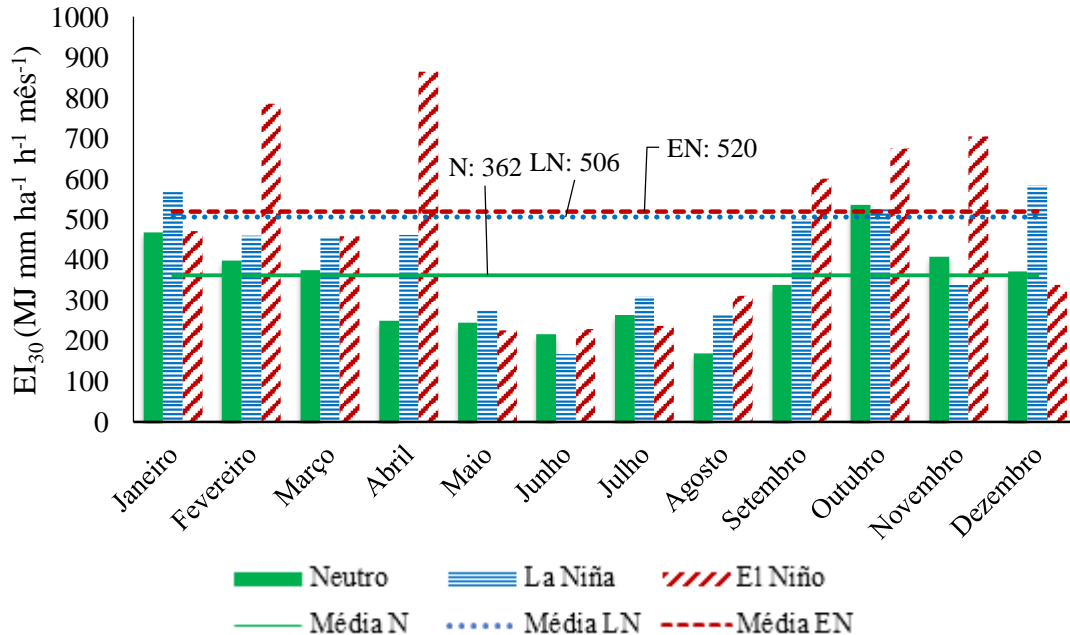
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

De posse dos dados unitários de EI<sub>30</sub>, relativos à cada evento individual de chuva considerada erosiva, calculou-se a média para cada mês, para os períodos Neutro, La Niña e El Niño. Os valores médios para cada mês do ano, separados por períodos climáticos, encontram-

se na Figura 25, no qual percebe-se o protagonismo dos eventos anômalos (La Niña e El Niño) ao apresentarem maiores médias em todos os meses do ano e comparação ao período Neutro. O período climático de El Niño, manifestou-se superior e, além disso, externou graficamente alguns picos de valores médios, nos meses de fevereiro, abril, outubro e novembro, nos quais foram registrados picos de perdas de água e solo, e de coeficiente de escoamento.

Levando em consideração o limite crítico estabelecido por Rufino (1986) que determina um valor médio mensal de erosividade de  $500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ , conclui-se que, em períodos de ocorrência dos fenômenos anômalos, em que este valor foi superado frequentemente, torna-se indispensável maiores cuidados quanto aos riscos de erosão hídrica pluvial do solo. Além disso, com relação a distribuição mensal do índice de erosividade, percebe-se que os períodos críticos de sua incidência coincidem com as épocas de colheita e implantação das culturas, tornando a situação ainda mais problemática quanto ao risco de erosão.

Figura 25 – Valores médios mensais do índice de erosividade  $EI_{30}$ , para os meses do ano, separados de acordo com o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

#### 4.5.2 Influência sobre as perdas de água por escoamento superficial

Com os 1014 valores de perdas de água, agrupou-se os valores individuais em valores mensais, separados por período climático (Neutro, La Niña e El Niño) para cada um dos quatro

tratamentos. Os dados de perdas de água são oriundos do período compreendido entre 1989 e 2014, totalizando 25 anos.

As perdas médias de água, por escoamento superficial, distribuíram-se hierarquicamente conforme o padrão climático, do seguinte modo: os menores valores ocorreram no período climático Neutro, seguido pelo período de La Niña e finalizando com o maior valor registrado no período de El Niño. A tendência de crescimento nas perdas de água ocorreu independentemente do tipo de tratamento, diferindo apenas, em magnitude de valores. As menores perdas médias foram obtidas na SD, seguidas do PR, PC e SC (Tabela 16).

As perdas médias de água no tratamento SD, no período Neutro, foram 32,3 % menores do que o valor médio obtido no período de El Niño. Além do maior valor médio de perdas de água, o período de El Niño também apresentou a peculiaridade de produzir escoamento superficial em eventos de altura pluviométrica mínima (WISCHMEIER; SMITH, 1958 modificado por CABEDA, 1976), fato não observado nos demais períodos climáticos para os tratamentos SD e PR.

Tabela 16 - Estatística descritiva dos dados mensais de perdas de água para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño.

Perdas de água (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) – Estatística descritiva								
Trat.	Período	Média	Mediana	D. Padrão	E. Padrão	Mínimo	Máximo	Nº
SD	N	86	6	211	17	0,00	1062	153
	LN	112	29	225	27	0,00	1471	72
	EM	126	12	249	32	0,80	1250	62
PR	N	134	13	276	22	0,00	1392	153
	LN	189	90	272	32	0,00	1517	72
	EN	208	70	340	43	0,82	1591	62
PC	N	181	30	342	28	0,35	1923	153
	LN	310	145	364	43	0,46	1616	72
	EN	335	131	449	57	1,36	1861	62
SC	N	300	110	440	36	0,45	2124	153
	LN	487	365	439	52	0,58	1683	72
	EN	495	283	541	69	1,08	1959	62

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

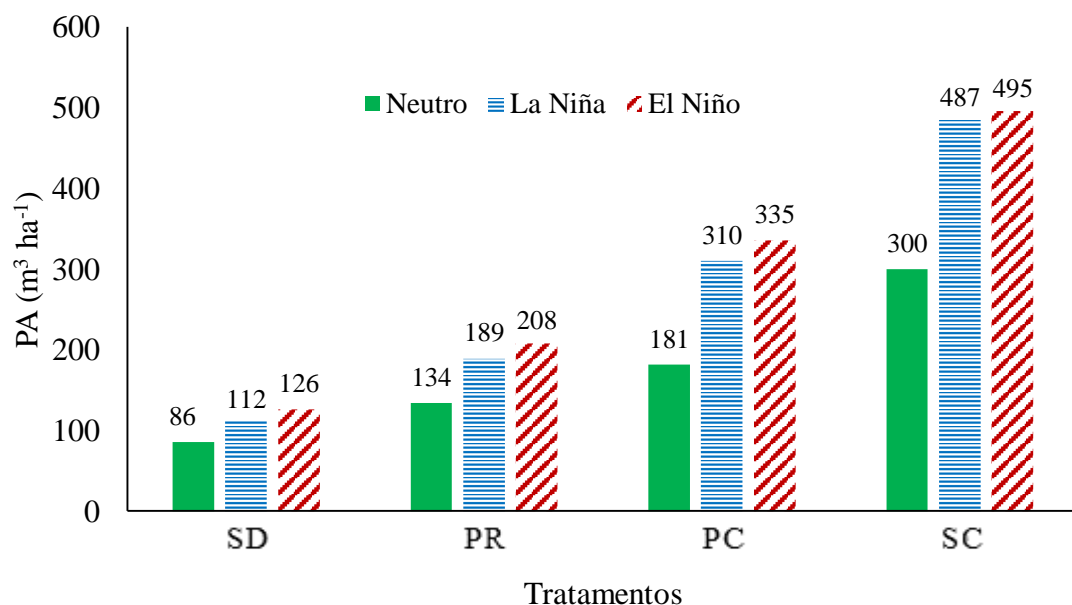
SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; D. Padrão: desvio padrão; E. Padrão: erro padrão; Nº: número total de meses; N: período neutro; LN: La Niña; EN: El Niño.

Analisando as perdas médias de água no tratamento PR, nota-se o mesmo comportamento do tratamento SD, com relação aos períodos climáticos. A maior perda de água foi registrada, no período de El Niño, explicitando um valor 35,6 % maior que o observado no período Neutro e, 9 % maior, ao volume de água perdido durante o período de La Niña. O tratamento PC, registrou a maior diferença entre os valores médios dos períodos Neutro e El Niño (45,9 %), com valores de 181, 310 e 335  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , para os períodos Neutro, La Niña e El Niño, respectivamente.

No tratamento SC, foram registrados volumes de perdas de água, superiores a todos os demais tratamentos. As perdas médias, foram superiores em períodos de El Niño, registrando-se um valor médio 39,5% superior ao encontrado com o período Neutro, enquanto La Niña e El Niño apresentaram valores semelhantes entre si, registrando perdas médias de 487 e 495  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , respectivamente.

Os resultados dos valores de perdas de água foram plotados em um gráfico de barras, com o intuito de visualizar o comportamento de cada período climático para os quatro tratamentos (Figura 26). Observando o gráfico, no qual se destacam os valores dos tratamentos SC, em comparação aos demais, percebe-se que, independentemente do tratamento, os períodos com a presença dos fenômenos anômalos, El Niño e La Niña, são os detentores das maiores perdas de água em 25 anos deste estudo.

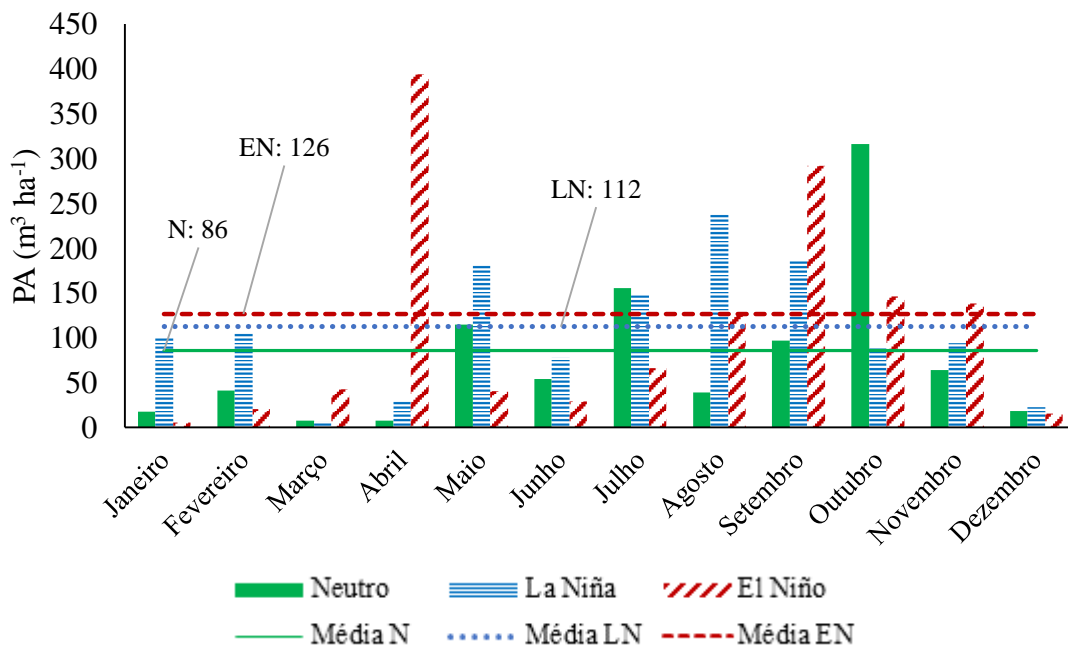
Figura 26 - Valores médios mensais das perdas de água (PA), separados por períodos de La Niña, El Niño e Neutro para os quatro tratamentos. SD: Semeadura direta; PR: Preparo reduzido; PC: Preparo convencional; SC: Solo sem cultivo e sem cobertura.



A diferença de perdas de água entre os tratamentos SD e PC foi de 52,8%, durante o período Neutro, enquanto que, para o período de El Niño, esta diferença subiu para 62,3%, ou seja, em anos de perturbação, os reflexos foram mais evidentes nos sistemas de manejo que dispuseram de pouca cobertura do solo, em detrimento dos tratamentos conservacionistas com superior cobertura do solo.

As perdas médias de água para cada período climático, foram plotadas em gráficos para cada tratamento, com o intento de se avaliar a disposição dos valores ao longo dos meses do ano e, com isso, especificar quais os meses de maior risco em relação ao escoamento superficial. Os gráficos contendo a distribuição mensal média das perdas de água estão retratados nas figuras 27 a 30. Nos gráficos observou-se perdas acentuadas em determinadas épocas do ano, com uma fase evidente ocorrida durante o outono, mais especificamente, no mês de abril, e a outra, no decurso dos meses de agosto, setembro e outubro, ambas com padrões de ressaltos das perdas derivados da aparição dos fenômenos El Niño e La Niña. Estes valores, acentuados, possivelmente sejam decorrência das alterações da normal climatológica com a intensificação das precipitações, associada às épocas críticas de início e final de ciclo das culturas agrícolas.

Figura 27 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



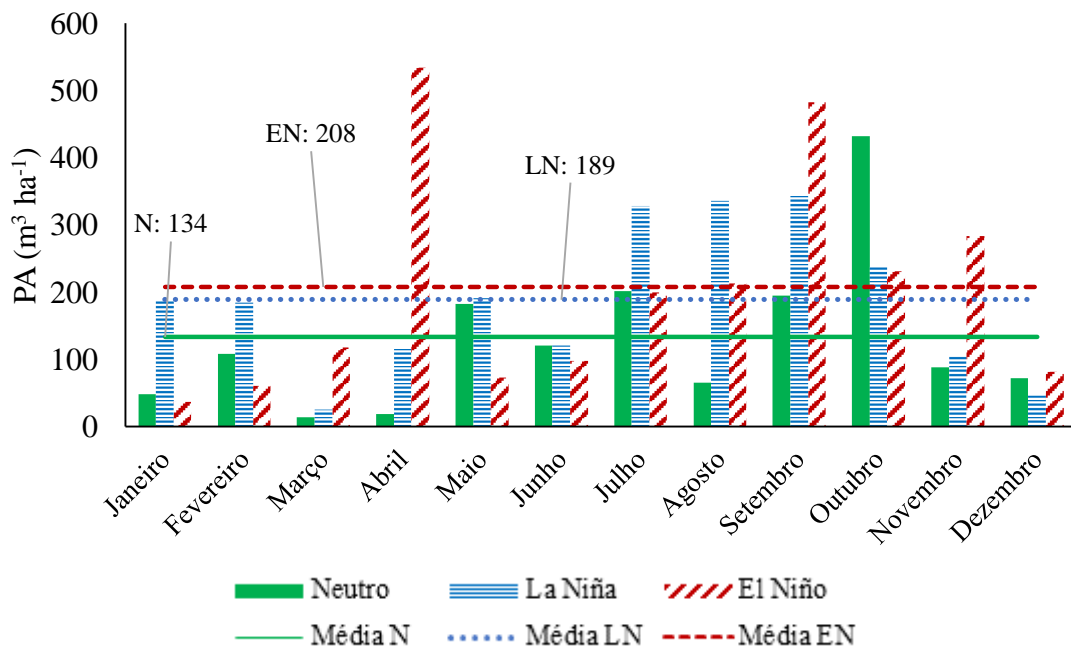
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

No tratamento SD, percebe-se que, ao longo dos meses do ano, o período Neutro manteve-se com valores abaixo da média registrada nos períodos com La Niña e El Niño, à

exceção dos meses de julho e outubro. Apesar deste comportamento, o período climático Neutro foi quem apresentou o menor valor de desvio padrão, com um valor de  $211 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , enquanto, os períodos La Niña e El Niño resultaram em valores crescentes de desvio padrão, retratados pela irregularidade e disposição dos valores médios, 225 e  $249 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente.

Com relação às perdas médias de água no tratamento PR (Figura 28), repara-se um comportamento semelhante à figura do tratamento SD, com relação a amplitude dos valores médios, bem como, com relação a posição dos valores extremos. O desvio padrão apontado pelos períodos climáticos, resultante deste tratamento, foi superior ao valor encontrado na SD, porém, inferior ao desvio calculado para os demais tratamentos. Este resultado é consequência da maior estabilidade no valor médio das perdas, proporcionada pela presença da cobertura do solo, que se faz presente em maior quantidade na SD, decresce no PR, intermitente no PC e nula no SC.

Figura 28 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento de preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



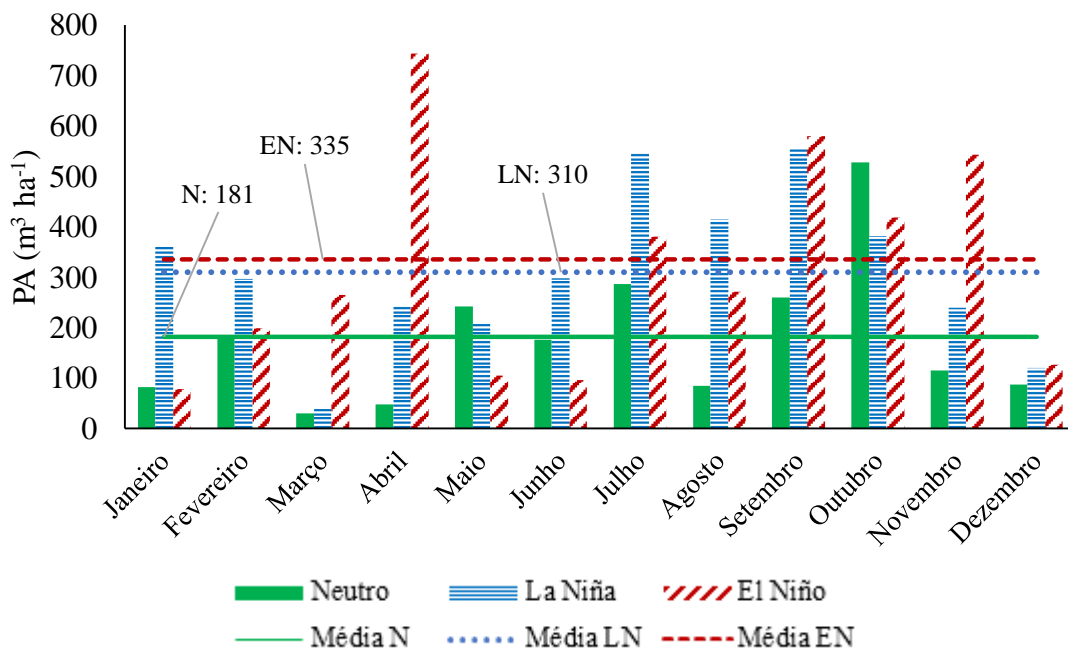
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Os valores das perdas médias de água para o tratamento PR, variaram de  $134 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a  $208 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , sendo o maior valor proveniente do período climático El Niño. O desvio padrão, calculado para cada período, foi de  $276$ ;  $272$  e  $340 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para os períodos climáticos Neutro, La Niña e El Niño, respectivamente. Da mesma forma que se descreveu o comportamento do gráfico de perdas do tratamento SD, inferindo-se sobre a variabilidade dos dados médios, no tratamento

PR não foi diferente. O PR apresenta-se com uma amplitude de valores ainda mais considerável, resultado que pode ser atribuído às operações de preparo, empregadas na implantação de cada novo cultivo.

As perdas médias mensais de água do tratamento PC foram plotadas em gráfico, como ilustra a Figura 29. Os valores médios, obtidos com este tratamento, variaram de  $181 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o período Neutro, e  $335 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  para o período de EL Niño, distinguindo-se em 85 %. Além da superioridade dos valores médios, apresentados pelo período El Niño, fato que comprova a diferença em relação à média climatológica, observa-se que o desvio padrão também apresenta valores elevados, indicando que, durante as aparições do fenômeno, os eventos de precipitação ocorreram com maior altura e intensidade.

Figura 29 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento de preparo convencional do solo (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



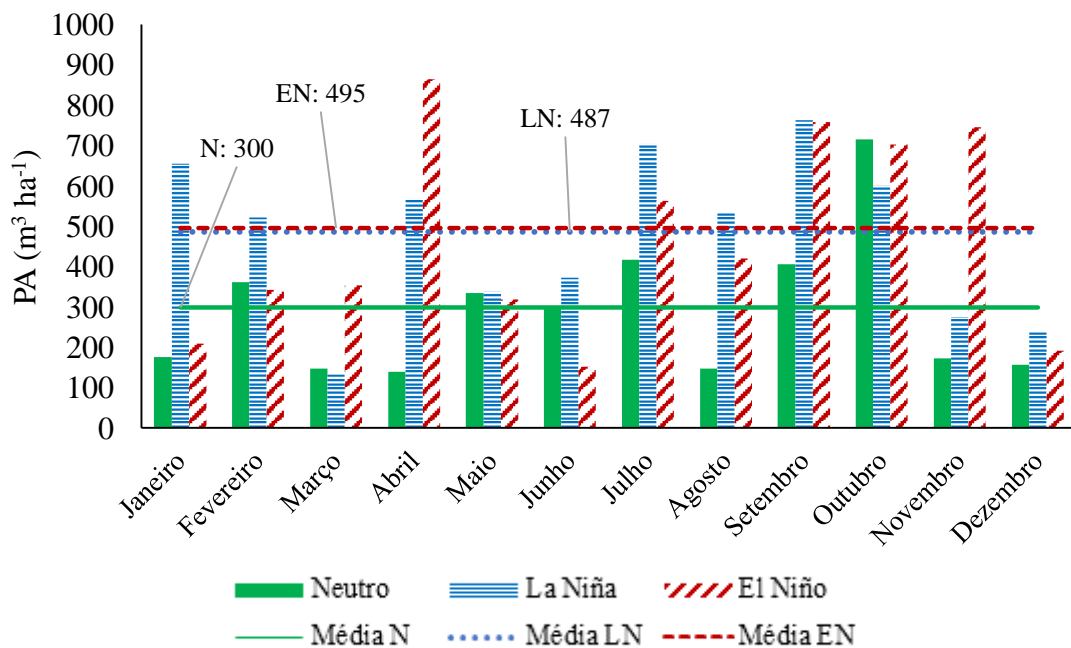
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

O tratamento SC foi o responsável pelos valores extremos de médias de perdas de água. A menor média foi obtida durante a ocorrência do período Neutro ( $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) ao passo que, no período El Niño, esta média avançou 65,3 %, sucedendo um valor médio de  $495 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . A diferença entre período Neutro e o El Niño, inferior à obtida com o tratamento PR, se deve ao fato do SC manifestar perdas de água com maior facilidade em virtude da ausência de cobertura do solo, independentemente da intensidade e altura das chuvas.



É evidente a necessidade de controle das perdas de água, uma vez que, juntamente com água do escoamento estão partículas de solo (sedimentos), nutrientes, elementos traços, moléculas sintéticas provenientes de defensivos agrícolas e material orgânico. Frente a isso, salienta-se a necessidade de controlar o escoamento superficial, sob pena de agravar os problemas procedentes da erosão hídrica pluvial do solo.

Figura 30 - Valores médios mensais das perdas de água (PA) do tratamento de solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

#### 4.5.3 Influência sobre as perdas de solo

Os resultados de perdas de solo, de um modo geral variaram amplamente entre os tratamentos e períodos climáticos, fato este, em parte esperado, dadas às variações existentes entre os padrões de precipitação, períodos de tempo para o retorno das chuvas, umidade do solo antecedendo a precipitação, tipo de manejo do solo e de estágio das culturas. Esta variabilidade nos dados também foi observado por Schick et al., 2000; Cogo et al., 2003 e Silva et al., 2009 analisando dados sem a distinção de fenômenos climáticos.

Assim, serão apresentados os resultados das perdas de solo, separados por tratamento e subdivididos com base no período climático (Tabela 17). Analisando os resultados, constata-se que não somente o período climático El Niño foi responsável pelo aumento das perdas, mas também o período La Niña, contradizendo diversos autores que concluíram que a anomalia La

Niña é causadora de reduções no regime pluviométrico na região (CRUZ; MINUZZI, 2009; MINUZZI, 2012; SA et al., 2018).

Analisando as perdas médias de solo (Tabela 17), percebe-se a superioridade apresentada nos períodos anômalos (La Niña e El Niño), para os quatro tratamentos. Na SD, no período Neutro ocorreu um valor médio de perda de solo de  $0,06 \text{ Mg ha}^{-1}$ , no período El Niño ocorreu  $0,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto no La Niña ocorreu o maior valor médio, com uma perda mensal de  $0,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ . No tratamento PR, ocorreu o mesmo padrão da SD, com perdas médias de solo de  $0,14$ ;  $0,27$  e  $0,29 \text{ Mg ha}^{-1}$ , para a sequência dos períodos Neutro, El Niño e La Niña. Nestes dois tratamentos, SD e PR, nos períodos Neutro e La Niña, constatou-se eventos de coleta de dados com valores nulos de perdas de solo, ao passo que, durante as aparições do fenômeno El Niño, foram registradas perdas de solo mesmo nos eventos de altura mínima de chuva considerada.

No tratamento com preparo convencional do solo (PC), ocorreram as maiores perdas médias de solo, dentre os tratamentos cultivados (Tabela 17). Neste tratamento também ocorreram as maiores diferenças de valores médios entre os períodos climáticos. No período Neutro resultou um valor médio de  $0,31 \text{ Mg ha}^{-1}$ , ou seja,  $68,4 \%$  menor do que o valor do El Niño, onde ocorreu perda média de  $0,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

No tratamento SC, as perdas de solo foram muito superiores,  $22,3$ ;  $14,2$  e  $9,7$  vezes maiores do que as encontradas no tratamento PC, respectivamente para os períodos Neutro, La Niña e El Niño. Avaliando os tratamentos de SC e PC, verifica-se que a diferença entre eles diminui do período Neutro, para La Niña e, deste, para El Niño. Schick (2014), em estudo utilizando dados da mesma área experimental (1988 a 2012), observou no tratamento PC, uma redução de  $92 \%$  no valor das perdas médias obtidas no tratamento SC. Isto pode ser explicado pela proteção do solo conferida pelas culturas no tratamento PC, as quais, juntamente com os resíduos culturais, protegeram o solo. Entretanto, quando se analisa somente as perdas de solo ocorridas no período El Niño, esta redução se tornou menos expressiva ( $89,7 \%$ ), podendo ser decorrente das maiores perdas ocorridas no PC, quando da ocorrência do fenômeno, aproximando os valores entre os dois tratamentos e reduzindo a diferença entre elas (Tabela 17).

Com relação aos valores mínimos de perdas de solo, registrados nos tratamentos PC e SC, é possível observar a presença de valores nulos durante o período Neutro, enquanto, nos períodos La Niña e El Niño, isto não ocorreu. Assim, ficou evidente que durante o período Neutro nem todos os eventos de chuva com no mínimo  $10 \text{ mm}$  de altura ocasionaram perdas de solo; em contrapartida, durante os períodos La Niña e El Niño, perdas de solo ocorreram nessas

chuvas, reafirmando a suposição de que nestes fenômenos climáticos houve intensificação da erosão (Tabela 17).

Tabela 17 - Estatística descritiva dos dados mensais de perdas de solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño.

		Perdas de solo – Estatística descritiva						
Trat.	Período	Média	Mediana	D. Padrão	E. Padrão	Mínimo	Máximo	Nº
SD	N	0,06	0,008	0,17	0,02	0,00	1,64	153
	LN	0,15	0,03	0,55	0,06	0,00	4,19	72
	EN	0,13	0,04	0,28	0,04	0,001	1,32	62
PR	N	0,14	0,02	0,33	0,03	0,00	2,24	153
	LN	0,29	0,06	0,66	0,08	0,00	4,21	72
	EN	0,27	0,07	0,57	0,07	0,001	3,50	62
PC	N	0,31	0,06	0,57	0,05	0,00	3,66	153
	LN	0,70	0,16	1,30	0,15	0,001	6,41	72
	EN	0,98	0,16	2,87	0,36	0,0015	19,51	62
SC	N	6,91	2,03	11,11	0,90	0,00	66,28	153
	LN	9,97	4,42	14,73	1,74	0,01	67,97	72
	EN	9,52	2,86	14,18	1,80	0,009	62,39	62

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

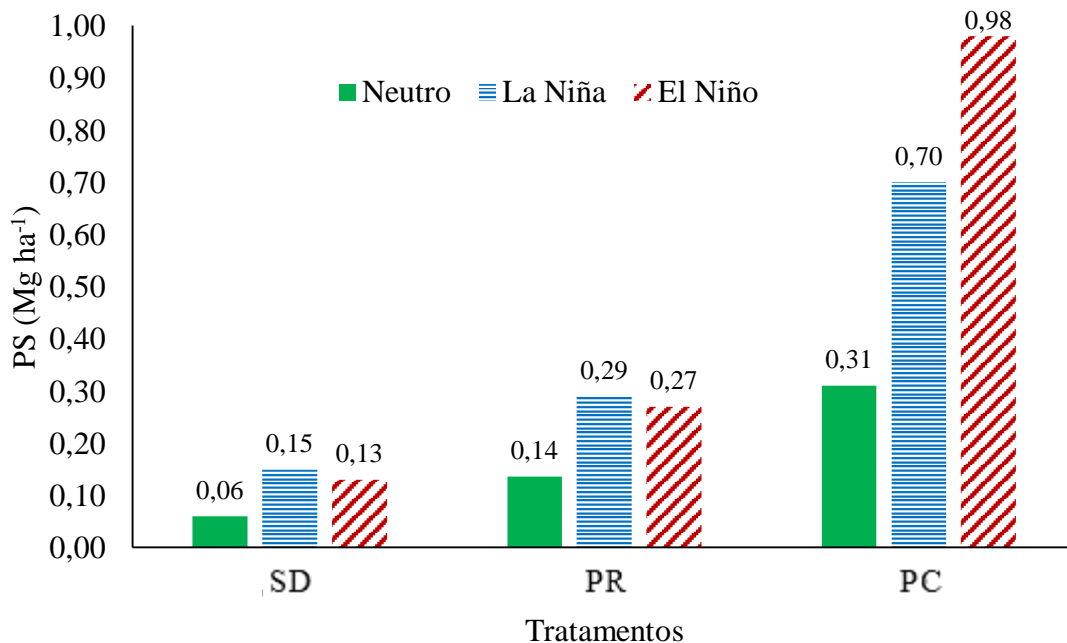
SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; D. Padrão: desvio padrão; E. Padrão: erro padrão; Nº: número total de meses; N: período neutro; LN: La Niña; EN: El Niño.

Os valores médios das perdas de solo dos tratamentos cultivados (SD; PR e PC), presentes na Tabela 17, foram apresentados em um gráfico de barras (Figura 31) com o objetivo de melhor visualizar o comportamento dos valores médios entre os períodos climáticos dentro dos tratamentos. Nesse caso, o tratamento PC, com uma perda média de solo de  $0,31 \text{ Mg ha}^{-1}$ , teve este valor acrescido em 5,2 vezes em relação ao tratamento SD. Trabalhando na mesma área e, com os mesmos tratamentos, sem a distinção de períodos climáticos, Bertol et al., (1997), Schick et al. (2000) e Schick (2014), encontraram uma diferença nas perdas, semelhante a esta.

Comparando SD com PC, porém para os períodos La Niña e El Niño, constatam-se aumentos de 4,7 e 7,5 vezes do SD para o PC, respectivamente para os dois fenômenos climáticos. Frente a estes resultados, entende-se que o tratamento PC, é mais susceptível ao incremento do índice de erosividade decorrente do El Niño, em comparação ao tratamento SD. Reiterando este comportamento, no tratamento PC, identificou-se aumento de 3,2 vezes ao valor das perdas médias de solo do período Neutro para o período El Niño.

Considerando a tolerância de perda de solo de  $9,6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , estabelecida por Bertol e Almeida (2000) para o solo em questão, equivalente ao valor mensal de  $0,8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ , constata-se que o PC, em épocas de El Niño e o SC, em todos os períodos climáticos, excederam o limite de tolerância. O valor médio de perda de solo para o El Niño, obtido no tratamento SC, superou em 12 vezes a tolerância preconizada pelos autores, superando também os valores obtidos por Schick (2014).

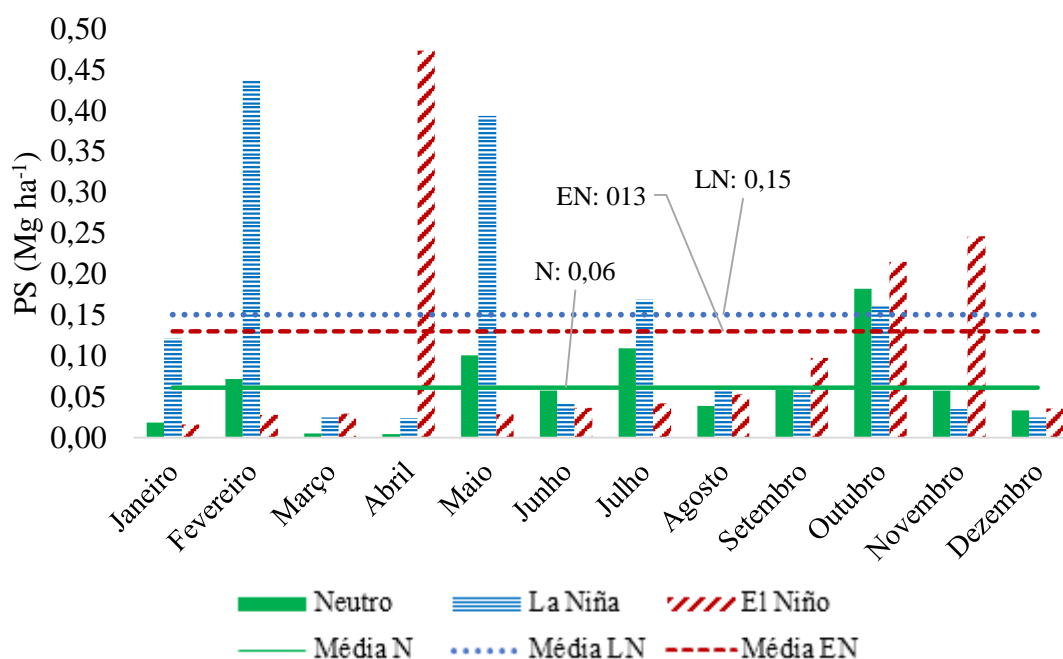
Figura 31 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS), separados por períodos de La Niña, El Niño e Neutro para os quatro tratamentos. SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

As perdas médias de solo foram dispostas em gráficos de barras (Figura 32 a Figura 35), discretizadas por tratamento e período climático, para cada mês do ano. O primeiro gráfico apresentado, corresponde aos valores médios mensais do tratamento SD (Figura 32). O período climático La Niña, apresentou valores médios com dois picos de perdas de solo acentuadas, nos meses de fevereiro e maio, resultando num valor de desvio padrão de  $0,55 \text{ Mg ha}^{-1}$ , enquanto no El Niño o desvio padrão foi de  $0,27 \text{ Mg ha}^{-1}$ . A maior média mensal de perdas de solo, na SD, foi registrada no El Niño, no mês de abril, exatamente no mesmo período em que se constatou as maiores perdas de água (Figura 27) para este mesmo tratamento.

Figura 32 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.

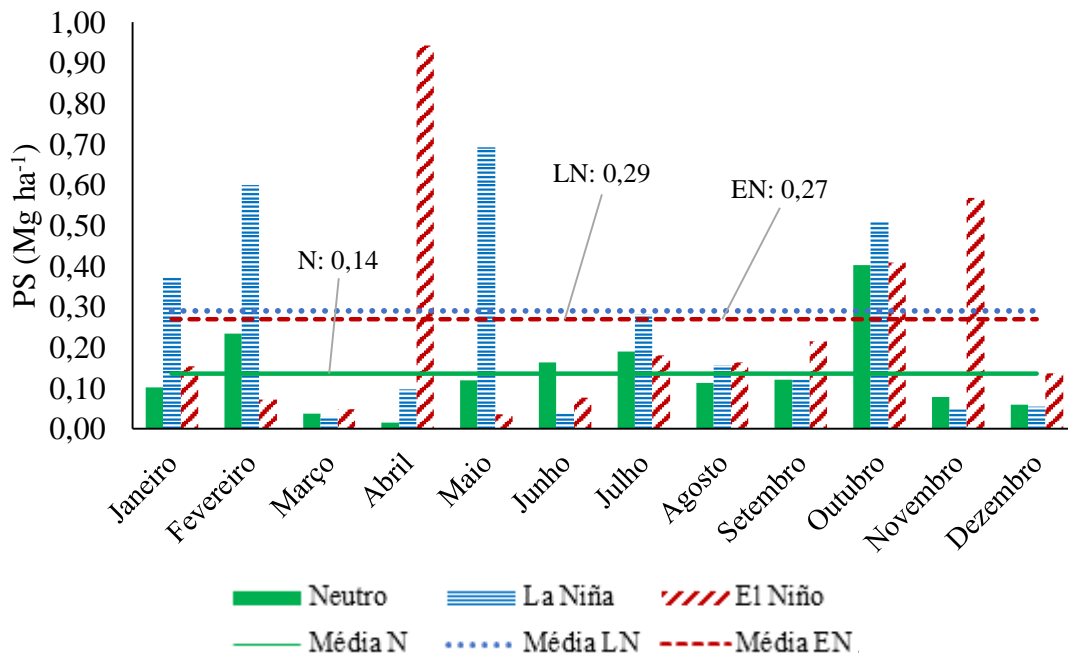


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Os valores médios mensais de perdas de solo, no PR assemelharam-se, em comportamento, ao obtido na SD, divergindo apenas em magnitude de valores. Na SD, as perdas de solo apresentaram algumas elevações, no valor médio, ao longo dos meses, protagonizadas pela ocorrência de La Niña e El Niño. Os picos, resultantes da ocorrência de La Niña, ocorreram em janeiro, fevereiro, maio e outubro. Os máximos valores médios de perdas de solo, registrados durante os episódios de El Niño, apareceram nos meses de abril, outubro e novembro, que, em parte, novamente coincidem com as maiores perdas de água (Figura 28), assinaladas por este tratamento.

Os maiores valores médios de perdas de solo, entre os sistemas de manejo avaliados, foram obtidos no tratamento PC (Figura 34). Também ocorreram as maiores diferenças entre os períodos climáticos. Neste tratamento, quando se verificam os valores provenientes dos períodos de La Niña, observou-se, nitidamente, três fortes ocorrências que destacam os valores médios das perdas de solo, nos meses de fevereiro, maio e outubro. O período de El Niño, detentor do maior valor médio geral, retratou três principais destaques de elevadas perdas médias de solo, nos meses de abril, novembro e dezembro.

Figura 33 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.

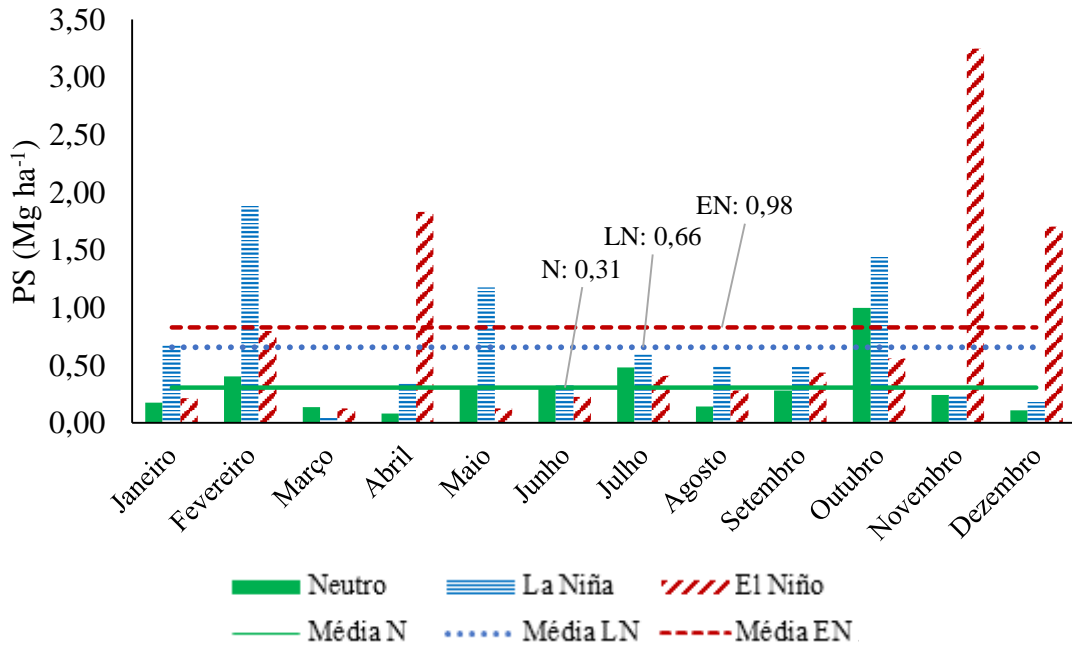


Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

As perdas de solo obtidas no tratamento SC (Figura 35), são perdas máximas, posto que este tratamento refere-se à uma condição extrema de exposição da superfície do solo à ação desgastante e degradante, imposta pelos agentes erosivos. Estes resultados de maiores perdas já eram esperados, uma vez que no tratamento SC, o solo fora constantemente submetido ao manejo intenso, de modo a potencializar o efeito da erosão hídrica, como preconiza Wischmeier e Smith, (1978a) ao estabelecer normas para a parcela padrão da Equação Universal de Perda de Solo (Universal Soil Loss Equation - USLE). Os valores médios mensais provenientes desta condição de tratamento, são muito superiores aos obtidos nos demais tratamentos.

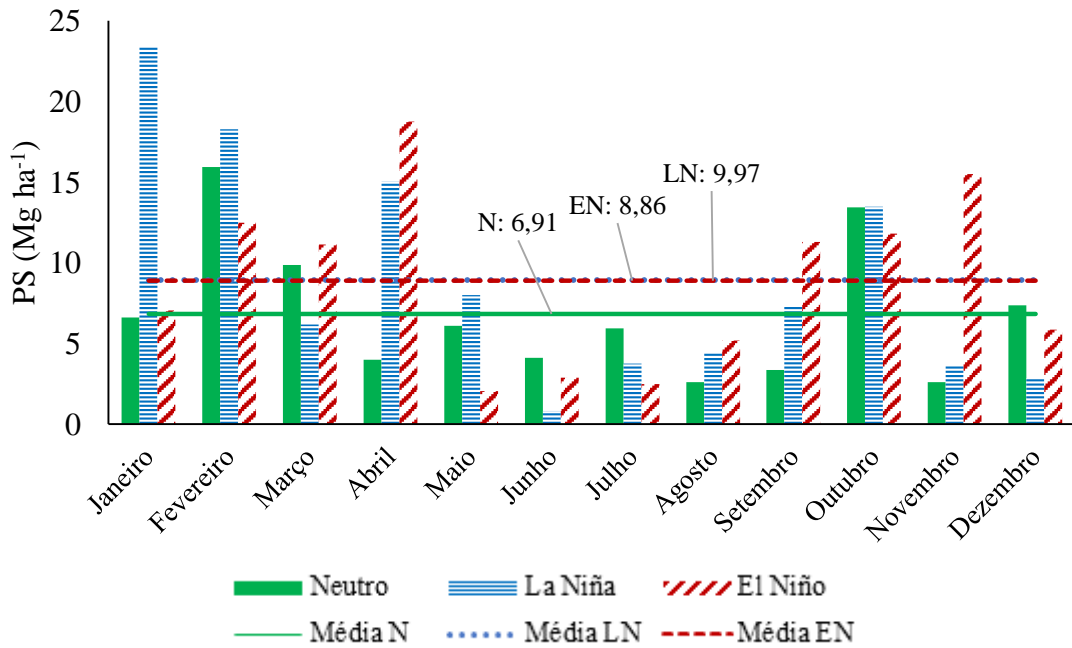
A justaposição das barras do gráfico, equivalendo a maiores valores médios, foi verificada também nos gráficos de perdas de água, como já se pôde observar no item 4.5.2 (Figura 30), o que justifica as maiores perdas médias de solo. Os resultados de perdas de solo provenientes de épocas de fenômenos climáticos reiteram e comprovam as suposições de ocorrência de maiores perdas nestes períodos, não somente em épocas de El Niño, mas também, sob a influência de La Niña. Resultados diferentes foram encontrados por Amado et al. (2002), num experimento localizado em Santa Maria – RS, o qual obteve resultados experimentais de perdas de solo, durante a aparição do fenômeno La Niña, inferiores às perdas obtidas nos demais períodos climáticos.

Figura 34 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento de preparo convencional (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Figura 35 - Valores médios mensais das perdas de solo (PS) do tratamento solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

#### 4.5.4 Influência sobre o coeficiente de escoamento

Neste item da pesquisa, dissociou-se os resultados conforme a presença ou ausência das anomalias climáticas. Os resultados da estatística descritiva para cada tratamento, separados por período Neutro, La Niña e El Niño, encontram-se na Tabela 18.

De um modo geral, observa-se que os valores de coeficiente de escoamento (C), para cada período climático, mantiveram o mesmo comportamento, entre os tratamentos, conforme já observado no item 4.5.2, divergindo apenas quanto ao tipo de variável. No período Neutro ocorreu um maior volume de eventos, 497 coletas em campo, ao longo dos 25 anos. No período La Niña ocorreu o segundo maior valor de eventos com coleta de dados (278), seguido pelo período de fenômeno El Niño (239) (Tabela 18).

Analisando separadamente cada tratamento, em função dos períodos climáticos, constata-se que os valores médios de C foram menores no período Neutro, medianos no período La Niña e máximos no período El Niño. No tratamento SD, o valor médio de C durante as aparições do fenômeno El Niño, registraram um valor de 0,05, ou seja, 1,28 vezes maior ao encontrado durante o período climático Neutro. Esta superioridade no valor do C, vigente nos momentos de El Niño, possivelmente foi devido às precipitações que excederam a capacidade de infiltração do solo, resultando em maiores volumes de escoamento (Tabela 18).

O preparo reduzido (PR), o qual é visto como o mais próximo da SD, em razão do reduzido revolvimento do solo, apresentou valores médios superiores aos encontrados na SD. Os valores médios de C obtidos foram de 0,07; 0,09 e 0,10; para os períodos climáticos Neutro, La Niña e El Niño, respectivamente. Já o tratamento PC, detentor dos maiores valores médios de C entre os tratamentos com cultivo, evidenciou um valor médio de C de 0,10 para o período Neutro, valor que encontra-se 40,8 % abaixo do valor obtido com as médias do período de El Niño (0,18) (Tabela 18).

No tratamento SC, observou-se o mesmo comportamento de aumento do C, verificado nos demais tratamentos, partindo do menor valor registrado no período Neutro (0,21), passando pelo período de La Niña com valor de 0,29; até o período de El Niño, com 0,30. Estes crescentes valores de C, confirmam a tendência de intensificação no volume do escoamento superficial com a aparição de anomalias climáticas como La Niña e El Niño (Tabela 18).



Tabela 18 - Estatística descritiva do coeficiente de escoamento para os quatro tratamentos, separados por período Neutro, La Niña e El Niño.

Coeficiente de escoamento – Estatística descritiva								
Trat.	Período	Média	Mediana	D. Padrão	E. Padrão	Mínimo	Máximo	Nº
SD	N	0,04	0,005	0,11	0,005	0,00	0,76	497
	LN	0,05	0,006	0,10	0,006	0,00	0,64	278
	EN	0,05	0,007	0,11	0,007	0,00	0,67	239
PR	N	0,07	0,008	0,14	0,006	0,00	0,95	497
	LN	0,09	0,01	0,15	0,009	0,00	0,77	278
	EN	0,10	0,01	0,17	0,01	0,00	0,79	239
PC	N	0,10	0,01	0,19	0,009	0,00	0,95	497
	LN	0,16	0,05	0,21	0,01	0,00	0,90	278
	EN	0,18	0,03	0,24	0,02	0,00	0,95	239
SC	N	0,21	0,08	0,26	0,01	0,0004	0,98	497
	LN	0,29	0,22	0,27	0,01	0,001	0,93	278
	EN	0,30	0,21	0,29	0,02	0,003	0,96	239

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

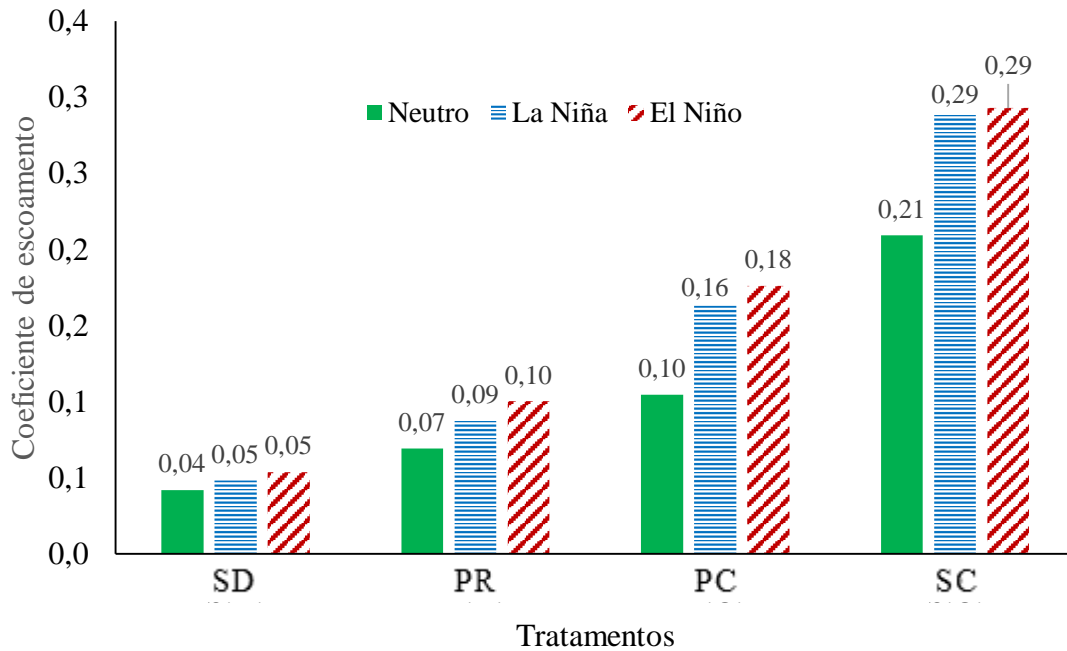
SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; D. Padrão: desvio padrão; E. Padrão: erro padrão; Nº: número total de meses; N: período neutro; LN: La Niña; EN: El Niño.

Os valores médios do C, na Tabela 18 foram dispostos de forma gráfica, com o intento de facilitar a identificação das tendências de efeito de tratamento e de período climático, os quais encontram-se na Figura 36. Na referida figura, identifica-se claramente os valores destaques, referentes aos períodos La Niña e El Niño, os quais são decorrência das maiores intensidades e alturas de chuva destes períodos.

Os valores de C foram separados por tratamento, e em cada ilustração foram grafados os valores médios mensais para cada período climático, como demonstram as figuras 37 a 40. Na Figura 37, verifica-se que os valores de C na SD tornaram-se mais expressivos a partir do mês de abril, para todos os períodos climáticos.

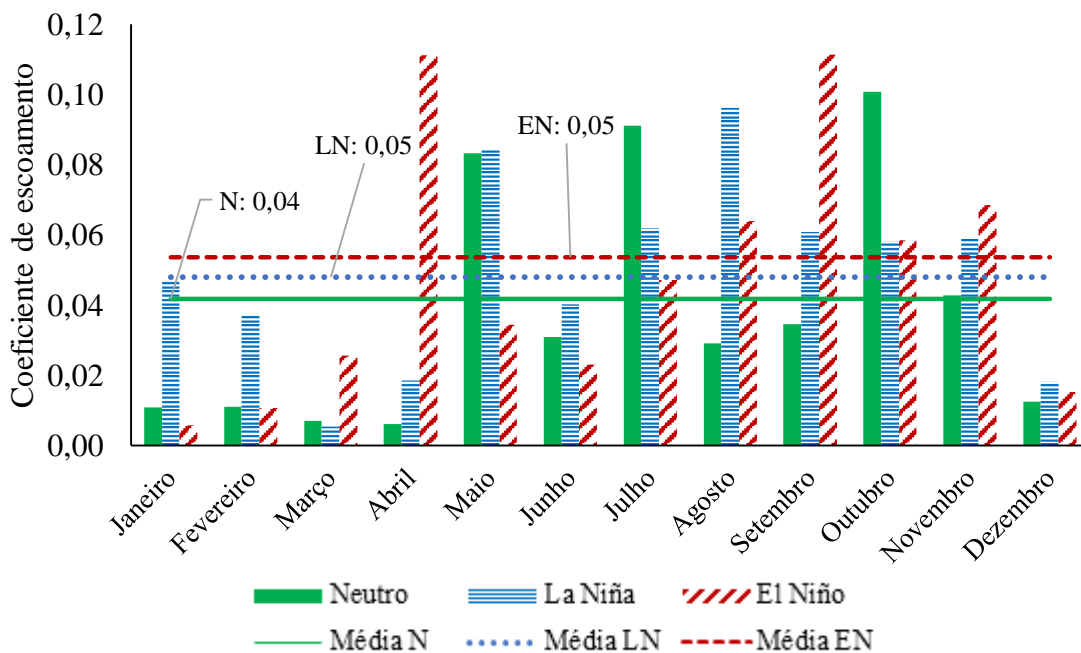
Para o tratamento PR (Figura 38), constatou-se a mesma tendência, da SD, a partir do mês de abril. Estes resultados são, possivelmente, devido a menor capacidade de proteção ao solo, conferida pela cobertura vegetal das culturas de inverno, posto que, os valores médios de C foram maiores neste período. Inclusive, é possível identificar valores elevados de C no período Neutro.

Figura 36 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C), separados por períodos Neutro, La Niña e El Niño, para os quatro tratamentos. SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura.



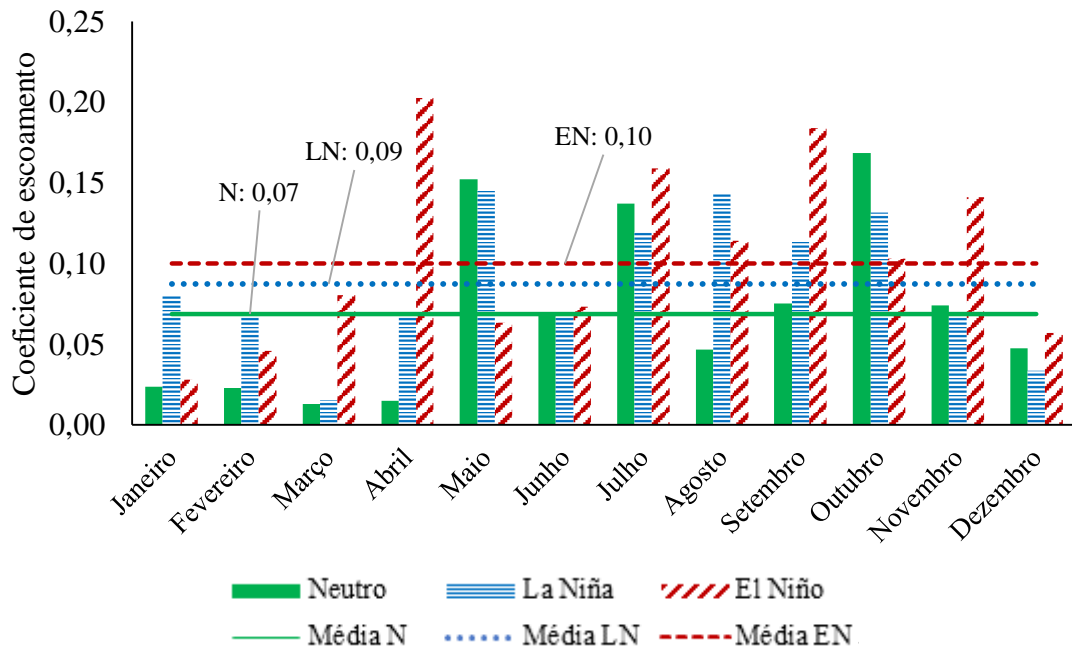
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Figura 37 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento semeadura direta (SD), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Figura 38 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento preparo reduzido (PR), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



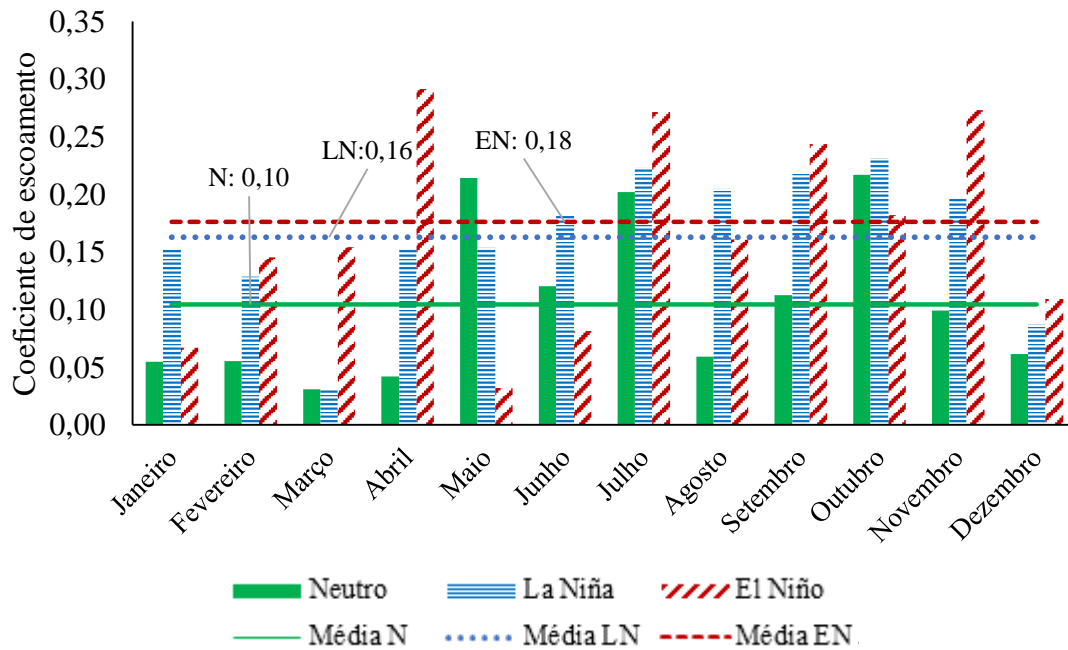
Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

O tratamento PC, expressou um comportamento diferente dos demais com cultivo, como se observa quanto a posição dos maiores valores médios de C, distribuídos ao longo dos meses do ano, sem diferenciação de valores de ocorrência. A manifestação dos eventos La Niña e El Niño, intensificaram os valores médios de C em diversas épocas do ano, com destaque para os meses de abril, julho, setembro e outubro (Figura 39).

No tratamento SC (Figura 40), percebe-se com maior evidência a constante influência dos fenômenos climáticos anômalo, ao longo de quase todos os meses do ano, à exceção de maio quando os maiores valores médios de C foram provenientes dos períodos de neutralidade climática.

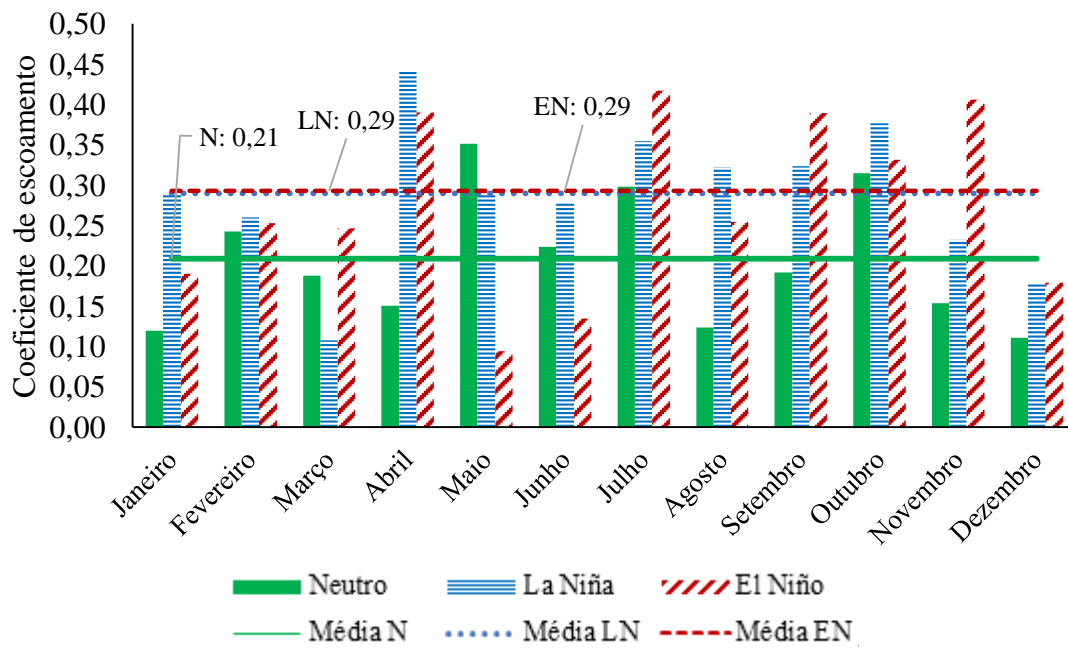
Os valores médios de coeficientes de escoamento aumentaram quando da ocorrência das perturbações climáticas La Niña e El Niño, independentemente do tratamento e época do ano.

Figura 39 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento preparo convencional (PC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

Figura 40 - Valores médios mensais do coeficiente de escoamento (C) do tratamento solo sem cultivo e sem cobertura (SC), calculados para o período Neutro, La Niña e El Niño.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

#### 4.6 CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo são:

- a) a ocorrência do fenômeno El Niño, aumenta a altura e erosividade das chuvas e, com isso, aumenta as perdas de água e solo; os valores são 47, 55, 85 e 65% maiores do que no período neutro para as perdas de água, enquanto, para as perdas de solo os valores são 116, 93, 216 e 38% maiores, respectivamente para os tratamentos SD, PR, PC e SC;
- b) a maior altura das chuvas no período El Niño resulta em índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) 44% maior do que no período Neutro, com maior coeficiente de escoamento cuja diferença é de 25, 43, 80 e 43%, respectivamente para a SD, PR, PC e SC.



## REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. D. et al. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa (MG), v. 19, n. 5, p. 437 – 449, 2011.

ALLMARAS, R. R.; BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. **Total porosity and roughness of the interrow zone as influenced by tillage**. [S. i.]: Washington D.C.: ARS: USDA, 22p. (Cons. Res. Report, 7), 1966.

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: "El Niño" e "La Niña" no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 819-827, Sept. 2002.

ANDRADE JUNIOR, A. D. et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.

ASAE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships**. In: ASAE Standards 1982. St. Joseph, 1982. p.229-241.

BACK, A. J. Relação Intensidade – Duração – Frequência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 28, n. 4, p. 575-581, 2006.

BERLATO, M.A. et al. Associação entre El Niño oscilação Sul e a produtividade de milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.423-432, 2005.

BERTOL, I. et al. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32: p. 747-757, 2008a.

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. **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. et al. Efeito de escarificação e da erosividade de chuvas sobre algumas variáveis de valores de erosão hídrica em sistemas de manejo de um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa (MG), v. 32, p.747- 757, 2008.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

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

BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Ago. 2007.

BERTONI, J.; LOMBARD NETO, F.L. **Conservação do solo**. São Paulo. Ed. Ícone, 2005. 5ª ed. p. 355.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 177-235.

BEUTLER, J. F. et al. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

BRAIDA, J.A. **Relações da erosão em entre-sulcos com resíduos vegetais em cobertura e erosão em sulcos em um solo podzólico vermelho escuro**. Porto Alegre, UFRGS, 1994. 152p. (Dissertação de Mestrado).

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração de água no solo**. Editora UFV, Viçosa, 2006. 120p.

BRANDAO, V. dos S. et al. Perdas de solo e caracterização física e micromorfológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 129-138, Apr. 2007 .



CABEDA, M. S. V. **Degradação física e erosão do solo**. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1º, SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO, 3. 1984. Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: PIVCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p.28-33.

\_\_\_\_\_. **Computations of storms EI values**. West Lafayette, Purdue University, 1976. 6p. (Não Publicado).

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

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São José dos Campos, v. 5, p. 89-97, 1997.

CANE, M. A. **Understanding and predicting the world's climate system**. In: Impacts of El Nino and climate variability on Agriculture ASA Special Publication, Madison, 2001, p. 1-20.

CARVALHO, L. G. et al. FAO Penman-Monteith equation for reference evapotranspiration from missing data. **IDESIA**, Arica, v. 31, n. 3, p. 39-47, 2013.

CETESB. **Drenagem urbana: Manual de projeto**. São Paulo, 1979. 479p.

CHOW, VEN TE. **Applied hydrology**, Mcgraw-hill, 1988, 572 páginas. ISBN 07-100174-3.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 743-753, Aug. 2003.

COGO, N.P. **Conceitos e princípios científicos envolvidos no manejo de solo para fins de controle da erosão hídrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Campinas, 1988. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 251-262.

\_\_\_\_\_. **Effect of residue cover, tillage induced roughness, and slope length on erosion and related parameters**. West Lafayette: Purdue University, 346p. (Tese de Doutorado), 1981.

\_\_\_\_\_. **Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural**. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada (1ª aproximação). In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2. Passo Fundo, 1978. Anais. Passo Fundo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p. 75-98.

COLOMBELLI, C.; MENDES, R. Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC. **Unoesc & Ciência - ACET**, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 169-180, jul./dez. 2013.

CRUZ, G.; MINUZZI, R. B. Influência do fenômeno La Niña na precipitação pluvial na região Oeste de Santa Catarina. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 22, p. 85-87, 2009.

CUNHA, F. et al. Comparative Study of Methods for Estimating Evapotranspiration Reference in Paranaíba City, Brazil. **Global Journal of Human-Social Science Research**, Virginia, v. 15, n. 1, p. 17-25, 2015.

CUNHA, P. C. R. et al. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referencial. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), Goiânia, v. 43, n. 2, p. 114-122, 2013.

DAEE-CETESB – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464 p.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latosolo Roxo Distrófico)**. Porto Alegre, 1981. 138 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DIAZ, A.F.; STUDZINSKI, C.D.; MECHOSO, R.C. Relationship between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, p. 251-271, 1998.

ELLISON, W.D. 1947. Soil erosion studies - Part I: **Agric. Eng.** 28:145-146.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 353 p. 2013.

FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – **Managing systems at risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan London. 2015.

FERNANDES, A. L.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B.Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba-MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 3, p. 270-276, 2011.

FOSTER, G.R. et al. **Modelings the erosion process**. In.: BASSELMAN, J.A., ed. Hydrological modeling of small watersheds. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineering, 1982. p. 297-300.

GIONGO, P. R.; GIONGO, L.; MOURA, G. B. A. Comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 23, n. 1, p. 11-25, 2013.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, 11: 2863-2880. 1998.

GRUBBS, F. E.; G. BECK. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations, **Technometrics**, v. 14(4), p. 847–854. 1972.

GUADAGNIN, J.C. **Perdas de nutrientes e carbono orgânico pela erosão hídrica, em um Cambissolo Húmico Alumínico léptico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003, 150 p. (Tese de Mestrado).

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions, **Soil & Tillage Research**, v. 82, p. 121-145, 2005.  
HARE, F.K; WARREN, A; MAIZELS, J.K; KATES, R.W; JOHNSON, D.L; HARING, K.J; GARDUÑO, M.A. **Desertificação Causas e Consequências**, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1992.

HOPKINS, W. G. Correlation coefficient: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3.ed. Ithaca, Cornell University Press. New York. 1995. 92 p.

KOHNKE, H. **Soil physics**. New York, McGraw-Hill, 1968. 224 p.

MARIOTI, J. et al. Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1361-1371, Oct. 2013.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. Avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 3, p. 331-340, 2015.

MINUZZI, R. B. Chuvas em Santa Catarina durante eventos de El Niño oscilação sul. **Geosul**. Florianópolis, v. 25, n. 50, p. 107-127, jul./dez. 2010.

MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J. Requerimento de água para irrigação do milho em Santa Catarina durante eventos La Niña. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1330-1337, Dec. 2012.

MIRANDA, A. C. R. et al. Métodos de separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: Estudo de Caso para a Bacia do Rio das Velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2014.

MORIASI, D. N., et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the ASABE**, 50, 885-900. 2007.  
MORIN, J.; KAREN, R.; BENJAMINI, Y.; BEN-HUR, M.; SHAINBERG, I. **Water infiltration as affected by soil crust and moisture profile**. Soil Sci., v. 148, p. 53-59, 1989.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NOAA. ENSO: Cold and warm episodes by season. On line. Disponível na Internet:<http://www.cpc.noaa.gov/products>. Capturado em 12 de julho de 2009.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

OLIVEIRA, G. S. de. **O El Niño e você – o fenômeno climático**. Editora Transtec – São José dos Campos, 2001.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1777-1785, 2011.

PEREIRA, D. D. R. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, 2009.

RAMOS, F. T. et al. Acurácia e calibração de uma sonda de capacitância em um neossolo quartzarênico cultivado com caju. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1631-1641, 2014<sup>a</sup>.

RAMOS, J. C. et al. Influência das condições de superfície e do cultivo do solo na erosão hídrica em um cambissolo húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1587-1600, Oct. 2014.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 212, p. 81-91, 1990.

REICHARDT, K. **A água nos sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987, 188 p.

RENARD, K.G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA, 1997. (Agricultural Handbook, 8).

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840p.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S., 1989. Precipitation patterns associated with the high-index phase of the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 2: p. 268-284.

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, Braunschweig, v. 12, p. 79-85, 1985.

RUFINO, R.L. Avaliação do potencial erosivo da chuva para o estado do Paraná: segunda aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10: p. 279-281, 1986.

SA, E. A. S. et al. Trends in daily precipitation in highlands region of Santa Catarina, southern Brazil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 13, n. 1, p. 2149, 2018.

SANTOS, K. F. dos et al. Estudo dos atributos físicos do solo e taxas de infiltração de água em diferentes modalidades de uso da terra. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n 1, p. 87-98, jan./fev. 2018.

SCHICK, J. et al. Erosão hídrica em Cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24: p. 427-436, 2000.

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. 149 p. (Tese de Doutorado).

SILVA, D. D. et al. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Estado de São Paulo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 7, n. 2, p. 70-87, 1999a.

SILVA, A.M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33: p. 1811-1820, 2009.

SPOHR, R. B. et al. Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 74-81, Feb. 2009.

STUDZINSKI, C. D. **Um estudo da precipitação na região Sul do Brasil e sua relação com os oceanos Pacífico e Atlântico tropical e sul**. São José dos Campos: INPE, 79 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-graduação em Meteorologia, INPE, 1995.

TRUMAN, C.C. et al. Variable rainfall intensity and tillage effects on runoff , sediment, and carbon losses from a loamy sand under simulated rainfall. **J. Environ. Qual.**, 36:1495-1502, 2007.

TUCCI, C. E. M. et al. (Org) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, UFRGS, 1993, v. 1, 943 p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, 61-78, Jan/Mar. 2000.

VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 255-60, maio/ago. 1994.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, Mcgraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WAGNER, C.S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier e Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 197-203, 1988.

WALKER, G. T.; BLISS, E. W. World Weather V. **Memorial Royal of Meteorological Society**, v. 4, n. 36, p. 53-84. 1932.

\_\_\_\_\_. World weather VI. **Memorial Royal of Meteorological Society**, v. 4, p. 119-139. 1937.

WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB. p. 477. 1978.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Boston, v. 2, p. 184-194, 1981.

WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.**, v. 33: p. 131-137, 1969.

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

\_\_\_\_\_. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Trans. Am. Geophys. Union**, v. 39, p. 285-291, 1958. Cited in 1976.



## ANEXOS

ANEXO A - Valores médios individuais do coeficiente de escoamento para os meses do ano, calculados para os quatro tratamentos, durante o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).

N	Mês	SD	PR	PC	SC
		C Médio	C Médio	C Médio	C Médio
1	Janeiro	0,02	0,04	0,08	0,17
2	Fevereiro	0,03	0,05	0,10	0,24
3	Março	0,01	0,03	0,05	0,16
4	Abril	0,03	0,05	0,10	0,23
5	Maio	0,09	0,14	0,19	0,30
6	Junho	0,04	0,08	0,14	0,25
7	Julho	0,07	0,10	0,17	0,26
8	Agosto	0,06	0,08	0,10	0,20
9	Setembro	0,07	0,11	0,17	0,26
10	Outubro	0,07	0,13	0,18	0,31
11	Novembro	0,05	0,08	0,15	0,21
12	Dezembro	0,02	0,04	0,08	0,15

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura.

ANEXO B - Valores máximos anuais dos coeficientes de escoamento para os quatro tratamentos, para o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).

N	Ano	SD	PR	PC	SC
		C Máx.	C Máx.	C Máx.	C Máx.
1	1989	0,44	0,58	0,63	0,65
2	1990	0,65	0,62	0,43	0,82
3	1991	0,13	0,14	0,12	0,22
4	1993	0,26	0,26	0,31	0,52
5	1994	0,27	0,36	0,56	0,67
6	1995	0,04	0,20	0,30	0,90
7	1996	0,14	0,23	0,44	0,66
8	1997	0,21	0,49	0,72	0,95
9	1998	0,32	0,46	0,69	0,76
10	1999	0,07	0,35	0,48	0,72
11	2000	0,20	0,61	0,80	0,81
12	2001	0,60	0,64	0,90	0,91
13	2002	0,37	0,73	0,83	0,92
14	2003	0,06	0,24	0,23	0,74
15	2004	0,30	0,47	0,51	0,75
16	2005	0,39	0,57	0,76	0,98
17	2006	0,24	0,33	0,55	0,65
18	2007	0,29	0,66	0,87	0,94
19	2008	0,62	0,86	0,95	0,94
20	2009	0,53	0,66	0,93	0,97
21	2010	0,76	0,95	0,95	0,95
22	2011	0,75	0,77	0,90	0,92
23	2012	0,41	0,40	0,65	0,81
24	2013	0,06	0,18	0,11	0,32
25	2014	0,08	0,24	0,22	0,37

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; C Máx.: máximo valor de coeficiente de escoamento superficial.

ANEXO C - Valores máximos dos coeficientes de escoamento para os quatro tratamentos, separados mensalmente, durante o período de 1989-1991/1993-2014 (25 anos).

N	Mês	SD	PR	PC	SC
		C Máx.	C Máx.	C Máx.	C Máx.
1	Janeiro	0,42	0,51	0,90	0,91
2	Fevereiro	0,50	0,77	0,82	0,95
3	Março	0,17	0,50	0,71	0,95
4	Abril	0,67	0,66	0,66	0,76
5	Maio	0,76	0,95	0,95	0,95
6	Junho	0,29	0,48	0,85	0,90
7	Julho	0,75	0,71	0,92	0,93
8	Agosto	0,64	0,62	0,69	0,90
9	Setembro	0,58	0,63	0,81	0,98
10	Outubro	0,65	0,86	0,95	0,94
11	Novembro	0,46	0,73	0,93	0,97
12	Dezembro	0,21	0,73	0,74	0,91

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: reparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; CE Máx.: máximo valor de coeficiente de escoamento superficial.

ANEXO D - Valores médios de coeficiente de escoamento, para os quatro tratamentos, separados por tipos de cultivo.

N	Mês	SD	PR	PC
		C Médio	C Médio	C Médio
1	Milho	0,04	0,07	0,12
2	Trigo	0,02	0,05	0,06
3	Aveia	0,08	0,11	0,17
4	Ervilhaca	0,07	0,11	0,17
5	Feijão	0,02	0,04	0,10
6	Soja	0,03	0,05	0,09
7	Nabo	0,13	0,18	0,28
8	Trigo/Aveia	0,07	0,10	0,17
9	Soja/Feijão	0,02	0,05	0,08
10	Trigo/Ervilhaca	0,04	0,09	0,15
11	Trigo/Nabo	0,06	0,10	0,18
12	Soja/Milho	0,02	0,05	0,11
13	Pousio	0,08	0,09	0,09

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; CE Médio: valor médio do coeficiente de escoamento superficial.

ANEXO E - Valores máximos de coeficiente de escoamento, para os quatro tratamentos, separados por tipos de cultivo.

N	Mês	SD	PR	PC
		C Máx.	C Máx.	C Máx.
1	Milho	0,44	0,66	0,93
2	Trigo	0,25	0,46	0,48
3	Aveia	0,76	0,95	0,95
4	Ervilhaca	0,53	0,63	0,92
5	Feijão	0,41	0,32	0,81
6	Soja	0,50	0,77	0,76
7	Nabo	0,75	0,86	0,95
8	Trigo/Aveia	0,60	0,64	0,70
9	Soja/Feijão	0,37	0,73	0,83
10	Trigo/Ervilhaca	0,39	0,36	0,74
11	Trigo/Nabo	0,37	0,52	0,72
12	Soja/Milho	0,42	0,51	0,90
13	Pousio	0,65	0,62	0,43

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; C Máx.: valor máximo do coeficiente de escoamento superficial.

ANEXO F – Perdas de água, tempo de retorno e probabilidades de ocorrência das perdas anuais para os quatro tratamentos, em Lages/SC, durante o período de 1989 a 2014 (25 anos).

Tratamentos									
SD		PR		PC		SC		Tr (ano)	P (%)
Ano	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ano	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ano	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Ano	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
2001	4492	2001	5517	2001	7547	1997	10184	25,0	4
2011	3208	1997	4272	1997	6829	2001	8932	12,5	8
2010	2916	2011	4075	2011	6408	2011	8115	8,3	12
2009	2495	2009	3017	2010	5100	2012	7645	6,3	16
1993	1782	2010	2902	2008	5023	2009	7194	5,0	20
1990	1656	2008	2774	2009	4968	2006	6924	4,2	24
2008	1542	2004	2749	2006	4581	1998	6748	3,6	28
1997	1376	1990	2733	1998	4147	1993	6236	3,1	32
1989	1275	1993	2658	1990	3506	2008	6219	2,8	36
2012	1145	2005	2230	2005	3501	1990	5774	2,5	40
1998	1116	2000	2028	1993	2926	2005	4849	2,3	44
2004	1087	2002	1818	2000	2457	2010	4015	2,1	48
2005	873	1989	1668	1999	1819	2004	3639	1,9	52
2006	735	1999	1382	2004	1798	2000	3524	1,8	56
2002	665	1998	1189	2012	1589	1999	3497	1,7	60
2007	625	2006	975	1989	1490	2007	3107	1,6	64
1994	559	2012	942	1994	1477	2002	2688	1,5	68
2000	469	2007	722	2007	1420	1989	2619	1,4	72
1991	268	1994	704	2002	965	1994	2587	1,3	76
1996	184	2013	651	2003	845	2003	2128	1,3	80
2014	180	1991	538	1996	727	2013	1272	1,2	84
1999	176	2003	476	1991	714	1991	1014	1,1	88
2013	163	1996	416	2014	414	1996	978	1,1	92
2003	116	2014	200	2013	242	1995	853	1,0	96
1995	61	1995	183	1995	192	2014	325	1,0	100

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; PA: perdas de água; Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência observada.

ANEXO G – Perdas de água, tempo de retorno e probabilidades de ocorrência das perdas individuais de água, para os quatro tratamentos, em Lages/SC, durante o período de 1989 a 2014 (25 anos).

SD		Tratamentos				SC		Tr (ano)	P (%)
Mês	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	PR	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	PC	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Mês	PA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
10/2001	1017	10/2001	1053	10/2001	1179	02/1997	1286	25,0	4
09/2011	857	02/1997	992	02/1997	1126	10/2001	1174	12,5	8
08/2010	708	09/2011	857	09/2011	856	09/2011	849	8,3	12
04/2009	600	09/2009	708	05/2010	722	06/2012	717	6,3	16
08/1993	560	09/2010	695	10/2008	712	06/2009	714	5,0	20
05/1990	560	05/2008	644	06/2009	708	02/2006	712	4,2	24
09/2008	463	04/2004	626	09/2006	707	09/1998	711	3,6	28
09/1997	407	08/1990	601	11/1998	704	02/1993	710	3,1	32
07/1989	360	02/1993	567	08/1990	691	08/2008	707	2,8	36
05/2012	349	08/2005	538	04/2005	679	08/1990	706	2,5	40
10/1998	348	10/2000	496	09/1993	666	04/2005	703	2,3	44
06/2004	348	09/2002	490	04/2000	649	07/2010	689	2,1	48
10/2005	317	06/1989	478	05/1999	637	10/2004	681	1,9	52
02/2006	264	07/1999	463	08/2004	625	05/2000	663	1,8	56
02/2002	249	04/1998	443	09/2012	548	06/1999	657	1,7	60
07/2007	188	05/2006	359	02/1989	520	06/2007	646	1,6	64
10/1994	164	10/2012	356	07/1994	445	07/2002	557	1,5	68
04/2000	160	10/2007	342	07/2007	443	10/1989	536	1,4	72
05/1991	145	10/1994	220	10/2002	441	11/1994	525	1,3	76
01/1996	72	11/2013	178	10/2003	171	04/2003	381	1,3	80
04/2014	66	05/1991	164	07/1996	145	09/2013	327	1,2	84
09/1999	64	09/2003	146	09/1991	139	09/1991	254	1,1	88
11/2013	34	07/1996	113	04/2014	99	09/1996	246	1,1	92
05/2003	31	10/2014	81	09/2013	75	01/1995	150	1,0	96
10/1995	9	04/1995	37	04/1995	36	04/2014	99	1,0	100

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; PA: perdas de água; Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência observada; Jan.: Janeiro; Fev.: Fevereiro; Mar.: Março; Abr.: Abril; Mai.: Maio; Jun.: Junho; Jul.: Julho; Ago.: Agosto; Set.: Setembro; Out.: Outubro; Nov.: Novembro; Dez.: Dezembro.

ANEXO H – Perdas de solo, tempo de retorno e probabilidades de ocorrência das perdas anuais de solo, para os quatro tratamentos, em Lages/SC, durante o período de 1989 a 2014 (25 anos).

Tratamentos									
SD		PR		PC		SC		Tr (ano)	P (%)
Ano	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ano	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ano	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Ano	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )		
1989	6,61	1989	7,92	2002	31,00	2014	222,30	25,0	4
1997	3,03	2014	6,04	2011	11,64	2013	187,61	12,5	8
1990	2,67	1998	4,92	2014	11,21	2012	185,39	8,3	12
2014	2,52	1997	4,58	1989	9,65	2011	183,29	6,3	16
1998	1,74	2013	3,46	1997	9,38	2002	140,96	5,0	20
2005	1,02	1990	3,22	2008	9,21	2009	129,27	4,2	24
2011	0,94	1996	3,14	2000	8,75	1990	123,47	3,6	28
1993	0,93	1999	2,84	1998	8,70	1998	115,63	3,1	32
2002	0,88	2002	2,66	1990	7,16	2000	113,31	2,8	36
2009	0,85	1994	2,28	2003	5,47	2008	101,02	2,5	40
2013	0,81	2005	1,96	2005	5,32	2007	94,67	2,3	44
2012	0,77	2011	1,77	1999	5,02	1997	94,14	2,1	48
1999	0,73	2012	1,69	1994	4,80	2004	78,39	1,9	52
2001	0,72	2000	1,65	1996	4,38	2010	74,52	1,8	56
2010	0,67	2009	1,35	2009	4,33	2006	73,09	1,7	60
1996	0,57	1995	1,29	2013	4,01	1996	66,12	1,6	64
1994	0,51	2008	1,25	2006	3,46	2003	58,29	1,5	68
2008	0,51	2010	1,19	2010	2,64	1999	51,91	1,4	72
1995	0,43	2001	1,08	2001	2,60	2001	50,80	1,3	76
2004	0,42	1993	1,06	2012	2,07	2005	44,02	1,3	80
2000	0,37	2004	0,75	2004	1,69	1989	41,85	1,2	84
2007	0,28	2003	0,74	2007	1,49	1993	40,52	1,1	88
2006	0,23	2007	0,60	1993	1,47	1994	32,31	1,1	92
2003	0,20	2006	0,41	1995	1,06	1995	6,60	1,0	96
1991	0,13	1991	0,23	1991	0,35	1991	2,03	1,0	100

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; PS: perdas de solo; Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência observada.

ANEXO I – Perdas de solo, tempo de retorno e probabilidades de ocorrência das perdas individuais de solo, para os quatro tratamentos, em Lages/SC, durante o período de 1989 a 2014 (25 anos).

Tratamentos									
SD		PR		PC		SC		Tr (ano)	P (%)
Mês	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Mês	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Mês	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )	Mês	PS (Mg ha <sup>-1</sup> )		
02/1989	4,25	02/1989	4,21	11/2002	13,81	01/2014	41,27	25,0	4
05/1997	1,84	04/2014	3,32	12/2011	7,87	10/2013	34,11	12,5	8
05/1990	1,24	05/1998	2,89	02/2014	5,86	11/2012	31,50	8,3	12
04/2014	1,17	02/1997	2,18	11/1989	5,29	02/2011	31,25	6,3	16
07/1998	0,81	10/2013	1,46	04/1997	4,51	10/2002	30,19	5,0	20
10/2005	0,74	10/1990	1,27	02/2008	4,46	11/2009	29,91	4,2	24
11/2011	0,69	06/1996	1,27	11/2000	4,43	10/1990	28,98	3,6	28
07/1993	0,52	11/1999	1,08	02/1998	3,87	10/1998	28,18	3,1	32
10/2002	0,51	01/2002	1,06	05/1990	3,78	02/2000	28,14	2,8	36
06/2009	0,50	07/1994	0,91	02/2003	2,60	07/2008	27,90	2,5	40
11/2013	0,45	11/2005	0,90	12/2005	2,36	09/2007	23,65	2,3	44
10/2012	0,43	10/2011	0,82	02/1999	1,96	02/1997	23,46	2,1	48
02/1999	0,41	10/2012	0,80	02/1994	1,74	02/2004	22,60	1,9	52
10/2001	0,38	07/2000	0,78	10/1996	1,72	12/2010	22,51	1,8	56
10/2010	0,35	10/2009	0,70	07/2009	1,56	04/2006	22,47	1,7	60
10/1996	0,29	01/1995	0,68	08/2013	1,55	01/1996	20,59	1,6	64
11/1994	0,29	10/2008	0,65	10/2006	1,48	03/2003	20,44	1,5	68
10/2008	0,27	01/2010	0,65	07/2010	1,44	02/1999	20,23	1,4	72
10/1995	0,25	05/2001	0,64	10/2001	1,40	10/2001	19,69	1,3	76
11/2004	0,25	11/1993	0,62	11/2012	1,40	04/2005	19,62	1,3	80
09/2000	0,23	05/2004	0,60	05/2004	1,33	02/1989	19,21	1,2	84
10/2007	0,22	10/2003	0,59	06/2007	1,32	12/1993	19,16	1,1	88
10/2006	0,20	07/2007	0,57	07/1993	1,28	02/1994	17,88	1,1	92
12/2013	0,20	01/2006	0,50	11/1995	1,23	05/1995	17,66	1,0	96
02/1991	0,19	11/1991	0,49	07/1991	1,15	02/1991	17,21	1,0	100

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; PS: perdas de solo; Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência observada; Jan.: Janeiro; Fev.: Fevereiro; Mar.: Março; Abr.: Abril; Mai.: Maio; Jun.: Junho; Jul.: Julho; Ago.: Agosto; Set.: Setembro; Out.: Outubro; Nov.: Novembro; Dez.: Dezembro.



ANEXO J – Coeficientes de escoamento, tempo de retorno e probabilidades de ocorrência do coeficiente de escoamento, para os quatro tratamentos, em Lages/SC, durante o período de 1989 a 2014 (25 anos).

Ano	Tratamentos								Tr (ano)	P (%)
	SD	PR		PC		SC				
Ano	C	Ano	C	Ano	C	Ano	C			
2010	0,76	2010	0,95	2010	0,95	2005	0,98	25,0	4	
2011	0,75	2008	0,86	2008	0,95	2009	0,97	12,5	8	
1990	0,65	2011	0,77	2009	0,93	1997	0,95	8,3	12	
2008	0,62	2002	0,73	2001	0,90	2010	0,95	6,3	16	
2001	0,60	2007	0,66	2011	0,90	2008	0,94	5,0	20	
2009	0,53	2009	0,66	2007	0,87	2007	0,94	4,2	24	
1989	0,44	2001	0,63	2002	0,83	2002	0,92	3,6	28	
2012	0,41	1990	0,62	2000	0,79	2011	0,92	3,1	32	
2005	0,39	2000	0,61	2005	0,76	2001	0,91	2,8	36	
2002	0,37	1989	0,58	1997	0,72	1995	0,90	2,5	40	
1998	0,32	2005	0,57	1998	0,69	1990	0,82	2,3	44	
2004	0,30	1997	0,45	2012	0,65	2000	0,81	2,1	48	
2007	0,29	2004	0,48	1989	0,63	2012	0,81	1,9	52	
1994	0,27	1998	0,46	1994	0,56	1998	0,76	1,8	56	
1993	0,26	2012	0,40	2006	0,55	2004	0,75	1,7	60	
2006	0,24	1994	0,36	2004	0,51	2003	0,74	1,6	64	
1997	0,21	1999	0,35	1999	0,48	1999	0,72	1,5	68	
2000	0,20	2006	0,33	1996	0,44	1994	0,67	1,4	72	
1996	0,14	1993	0,26	1990	0,43	1996	0,66	1,3	76	
1991	0,13	2003	0,24	1993	0,31	1989	0,65	1,3	80	
2014	0,08	2014	0,24	1995	0,30	2006	0,65	1,2	84	
1999	0,07	1996	0,23	2003	0,23	1993	0,52	1,1	88	
2013	0,06	1995	0,20	2014	0,22	2014	0,37	1,1	92	
2003	0,06	2013	0,18	1991	0,12	2013	0,32	1,0	96	
1995	0,04	1991	0,14	2013	0,11	1991	0,22	1,0	100	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2018.

SD: semeadura direta; PR: preparo reduzido; PC: preparo convencional; SC: solo sem cultivo e sem cobertura; C: coeficiente de escoamento superficial; Tr: tempo de retorno; P: probabilidade de ocorrência observada.

## ANEXO K - Definição do período de tempo com presença de anomalias climáticas.

ANO	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.
1988	EN	EN	N	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1989	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N
1990	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1991	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1992	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	N	N	N
1993	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1994	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1995	EN	EN	EN	N	N	N	N	LN	LN	LN	LN	LN
1996	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1997	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1998	EN	EN	EN	EN	EN	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1999	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
2000	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
2001	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2002	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2003	EN	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2004	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2005	EN	EN	EN	EN	N	N	N	N	N	N	N	N
2006	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN
2007	EN	N	N	N	N	N	N	LN	LN	LN	LN	LN
2008	LN	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N
2009	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2010	EN	EN	EN	EN	N	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN
2011	LN	LN	LN	LN	N	N	N	LN	LN	LN	LN	LN
2012	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2013	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2014	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN
2015	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2016	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	LN	LN	LN	LN	LN

Fonte: [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).

N: Neutro; EN: El Niño; LN: La Niña; J.: Janeiro; F.: Fevereiro; M.: Março; A.: Abril; M.: Maio; J.: Junho; J.: Julho; A.: Agosto; S.: Setembro; O.: Outubro; N.: Novembro; D.: Dezembro.

## VITA

Romeu de Souza Werner, filho de Sebastião Romeu Arruda Werner e Vera Aparecida de Souza Werner, nasceu em 15 de julho de 1984, em Lages, Santa Catarina. Realizou o ensino médio no Colégio Santa Rosa de Lima (Lages, SC), concluindo-o em 2001. Em 2011, recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC. Em 2012, ingressou no curso de Mestrado em Ciência do Solo pela UDESC (Lages, SC), e recebeu o grau de Mestre em 2014. Ainda em 2014, foi aprovado no processo seletivo para o curso de Doutorado em Ciência do Solo pela UDESC (Lages, SC), recebendo o título de Doutor em julho de 2018.