

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Fernanda Dias dos Santos

**CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE FRAGILIDADE BASEADO NA  
PERDA DE SOLO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO**

Santa Maria, RS  
2018



**Fernanda Dias dos Santos**

**CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE FRAGILIDADE BASEADO NA  
PERDA DE SOLO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS  
2018

Dias dos Santos, Fernanda  
CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE FRAGILIDADE BASEADO NA  
PERDA DE SOLO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO / Fernanda  
Dias dos Santos.- 2018.  
125 p.; 30 cm

Orientador: Jussara Cabral Cruz  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2018

1. Erosão Hídrica 2. Balanço Hídrico 3. Planejamento  
Ambiental. I. Cabral Cruz, Jussara II. Título.

**Fernanda Dias dos Santos**

**CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE FRAGILIDADE BASEADO NA  
PERDA DE SOLO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Aprovado em 21 de fevereiro de 2018:**

---

**Jussara Cabral Cruz, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. (UFSM)  
(Presidente/Orientadora)**

---

**João Francisco Carlexo Horn, Dr. (UFSM)**

---

**Adilson Pinheiro, Dr. (ABRH/ FURB)**

Santa Maria, RS.

2018.



## Dedicatória

*Pai e mãe: mais do que a educação formal que vocês me ofereceram e que sempre se esforçaram para que fosse a melhor, a formação humana foi o que de mais importante vocês fizeram por mim. Eu só posso retribuir tentando ser a melhor filha que pais como vocês merecem ter.*

*À vocês, dedico!*





## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado vida e saúde para concluir esta etapa.

“A medida da eficiência dos pais é quanto os filhos vão além deles”. Agradeço aos meus pais João e Ivone, por acreditarem nas minhas decisões, mesmo que isso significasse a ausência em certos momentos. Tenho certeza que a realização deste sonho, que inicialmente era meu e depois passou a ser de vocês também, teve muito suor, mas também representa a força de uma família humilde, que luta e batalha para conquistar um futuro melhor. A vocês minha eterna gratidão.

A minha orientadora, Jussara Cabral Cruz, pela orientação, pelas palavras de carinho durante a caminhada, pelo incentivo, paciência, e conhecimento transmitido. Só tenho a agradecer. Se hoje cheguei aqui é porque meu espelho sempre foi você, que além de orientadora tornou-se amiga.

As minhas irmãs, Rosangela e Francieli, aos meus sobrinhos Bruno, Felipe e Alessandra, que sempre demonstraram apoio incondicional. Estendo o agradecimento à suas famílias.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, especialmente Elke Lima e Camila Andrzejewski. Meninas, vocês foram fundamentais para que esta caminhada se tornasse possível e me fizeram rir até nos momentos de desespero, fazendo o fardo ficar mais leve. Muito grata pela amizade e cumplicidade. SoRy!

Ao Alisson Kunde de Moraes, pelo carinho e amor.

Ao Junior Mendes, Mari Borba, Cynthia Porto, Ronaldo Kanopf de Araújo, Éverton Cabral, por cada café, cada mate e cada palavra de apoio.

Aos colegas do Grupo GERHI.

À Elenice Broetto Weiler, por não medir esforços sempre que precisei. Esse trabalho tem muito esforço teu. Eternamente grata.

Ao Sr. Crespim, que gentilmente abriu “as porteiras” da sua propriedade para que a coleta de água pudesse ser feita.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo ensino gratuito e de qualidade.

A todos os professores do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Frederico Westphalen, os quais contribuíram para minha formação, em especial a professora Magda Lea Bolzan Zanon, que além de amiga se tornou quase mãe, fazendo com que a caminhada se tornasse mais leve.

Agradecimento especial à Maria Aláides, que muitas e muitas vezes nos tirou do sufoco e tornou-se uma grande amiga, seu jeito carinhoso de ser fez meus dias se tornarem mais leves. Obrigada pelo período de convivência.

A todos os amigos que conquistei na Pós-Graduação e que levo comigo.

A Capes, pelo apoio financeiro para subsidiar a pesquisa.

**Muito obrigada!**

*Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas,  
eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar.*

*Mesmo as críticas nos auxiliam muito.*

*Chico Xavier*



## RESUMO

### CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE FRAGILIDADE BASEADO NA PERDA DE SOLO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

AUTORA: Fernanda Dias dos Santos  
ORIENTADORA: Jussara Cabral Cruz

O planejamento ambiental de bacias hidrográficas constitui um importante instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. Na perspectiva de contribuir para o debate, são abordados alguns pressupostos para planejamento ambiental de bacias hidrográficas. O objetivo desta pesquisa foi testar metodologias para determinação de perda potencial de solo por erosão e balanço hídrico climatológico para criar subsídios para tomada de decisão para o planejamento ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. Para estimar a perda potencial de solo por erosão utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) espacializado, com a finalidade de diagnosticar áreas mais suscetíveis a perdas de solo. Para determinação do balanço hídrico climatológico, utilizou o script BHCGeo.py (CARVALHO NETO, 2011). Para ambos, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGIS 10.5, onde os fatores de solo, pluviosidade, relevo, uso do solo, práticas conservacionistas e temperatura foram espacializados para toda área de drenagem da bacia. A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, nas coordenadas geográficas 29°00' e 29°30' de latitude Sul e 53°39' e 54°06' de longitude Oeste e com área de drenagem de 1541,9 km<sup>2</sup>. Insere-se na zona de transição entre a Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense caracterizada por solos rasos a muito profundos, com predominância de Neossolo U.M. Guassupi (48,9%), com relevo plano a forte montanhoso, sendo drenada pelo Rio Toropi e Guassupi, abrangendo os municípios de Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos e São Martinho da Serra. As perdas de solo foram calculadas para a situação de uso atual do solo da bacia, bem como para 3 cenários elaborados em função do uso e cobertura do solo: toda a área coberta por uso campestre, toda a área coberta por uso agropecuária e toda a área coberta por uso floresta/reflorestamento, sendo que em ambos os cenários as áreas de uso antrópico urbano não sofreram alterações. Para o balanço hídrico climatológico considerou-se a temperatura média para a bacia, a capacidade de água disponível, em função do tipo e uso do solo e a precipitação média. Posteriormente, cruzou-se os dados, gerando mapas de fragilidade para a bacia, objeto de estudo. Para perda potencial de solo, os maiores valores foram encontrados para o cenário de uso campestre (3.211,49 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), seguido pelo uso floresta/reflorestamento (1.267,54 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), uso atual (1.246,39 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e uso agropecuária (600,82 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), onde foram consideradas as chuvas máximas (anos chuvosos). Para o balanço hídrico climatológico, verificou-se a espacialidade das chuvas ao longo do ano, sendo que a temperatura influencia diretamente no balanço, através da evapotranspiração potencial. Considerou-se as chuvas médias (anos normais), chuvas mínimas (anos secos) e chuvas máximas (anos chuvosos). O balanço hídrico climatológico teve as seguintes variações: mínimo: de -2 a 122 mm; médio: de 2 a 144 mm e máximo de 15 a 167 mm, com os valores mínimos e máximos observados nos meses de janeiro e outubro, respectivamente. Para trabalhar o planejamento ambiental da bacia, dividiu-se as perdas potenciais de solo considerando chuvas máximas em 7 classes (0 – 1; 1 – 10; 10 – 50; 50 – 100; 100 – 500; 500 – 1000 e 1000 – 5000 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e o balanço hídrico climatológico em 3 classes (< 0; 0 – 5 e > 5 mm), considerando chuvas mínimas, médias e máximas, gerando assim as classes de fragilidade. As classes de maior fragilidade encontram-se nas maiores classes de perda de solo e nas menores classes do balanço hídrico climatológico, sendo que, à medida que há o aumento das chuvas, as áreas de criticidade diminuem, evidenciando o fato de que a região é mais frágil ao déficit hídrico à erosão hídrica. O planejamento ambiental faz-se necessário na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, uma vez que mesmo em cenários de perdas mínimas, ainda assim 15,81 km<sup>2</sup> não são passíveis de uso por apresentarem perdas acima do limite estabelecido.

**Palavras-chave:** Erosão Hídrica; Balanço Hídrico; Planejamento Ambiental.



## ABSTRACT

### CONSTRUCTION OF A FRAGILITY INDEX BASED ON SOIL LOSS AND CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE

*AUTOR: Fernanda Dias dos Santos*  
*ORIENTADORA: Jussara Cabral Cruz*

The environmental planning of watersheds is an important instrument for the management of water resources. In order to contribute to the debate, some assumptions are presented for the environmental planning of river basins. The objective of this research was to test methodologies for determination of soil potential loss by erosion and climatological water balance to create subsidies for decision making for the environmental planning of the Cachoeira Cinco Veados Basin, RS. To estimate the potential loss of soil by erosion, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to diagnose areas more susceptible to soil loss. To determine the climatological water balance, he used the BHCGeo.py script (CARVALHO NETO, 2011). For both, a Geographic Information System, the ArcGIS 10.5 software was used, where soil, rainfall, relief, land use, conservation practices and temperature factors were spatialized for the entire drainage area of the basin. The study area is located in the Ibicuí River Basin, at the geographical coordinates 29 ° 00 'and 29 ° 30' south latitude and 53 ° 39 'and 54 ° 06' west longitude and with a drainage area of 1541, 9 km<sup>2</sup>. It is inserted in the zone of transition between Central Depression and the Plateau Sul-Riograndense characterized by shallow to very deep soils, predominantly Neossolo U.M. Guassupi (48.9%), with flat relief to mountainous fort, being drained by the Toropi and Guassupi River, covering the municipalities of Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos and São Martinho da Serra. Soil losses were calculated for the current land use situation of the basin, as well as for three scenarios elaborated according to land use and coverage: the entire area covered by rural use, the entire area covered by agricultural and livestock use and the whole area. area covered by forest / reforestation, and in both scenarios urban anthropic use areas are unchanged. For the climatological water balance the average temperature for the basin was considered, the available water capacity, according to the type and use of the soil and the average precipitation. Subsequently, the data were crossed, generating fragility maps for the basin, object of study. For potential soil loss, the highest values were found for the rural use scenario (3,211.49 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>), followed by forest / reforestation use (1,267.54 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>), current use (1,246.39 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>) and agricultural use (600.82 ton.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>), where maximum rains were considered (rainy years). For the climatological water balance, the spatiality of the rains was verified throughout the year, and the temperature directly influences the balance through potential evapotranspiration. It was considered the average rains (normal years), minimum rains (dry years) and maximum rains (rainy years). The climatic water balance had the following variations: minimum: from -2 to 122 mm; average: from 2 to 144 mm and maximum from 15 to 167 mm, with the minimum and maximum values observed in January and October, respectively. In order to work on the environmental planning of the basin, the potential soil losses were divided into 7 classes (0 - 1, 1 - 10, 10 - 50, 50 - 100, 100 - 500, 500 - 1000 and 1000 - 5,000 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) and the climatic water balance in 3 classes (<0; 0 - 5 and > 5 mm), considering minimum, medium and maximum rains, thus generating the fragility classes. The most fragile classes are found in the largest classes of soil loss and in the lowest classes of the climatological water balance, and, as rainfall increases, areas of criticality decrease, evidencing the fact that the region is more water deficit to water erosion. The environmental planning is necessary in the Cachoeira Cinco Veados Basin, RS, since even in scenarios, 15.81 km<sup>2</sup> are not yet usable because they present losses above the established limit.

**Keywords:** Water Erosion; Hydric Balance; Environmental planning





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Solo e esquema da Capacidade de Água Disponível. ....	30
Figura 2 - Fluxograma de abordagem metodológica. ....	38
Figura 3 - Localização da área de estudo. ....	39
Figura 4 - Mapa de solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	41
Figura 5 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	44
Figura 6 - Mapa das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do Fator R. ....	45
Figura 7 - Chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015). ....	46
Figura 8 - Chuvas médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015). ....	46
Figura 9 - Chuvas máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015). ....	46
Figura 10 - Modelo Digital de Elevação da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	50
Figura 11 - Evapotranspiração média mensal da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015). ....	55
Figura 12 - Mapa das chuvas médias (1985 – 2015) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	56
Figura 13 - Fluxograma para elaboração do Balanço Hídrico Climatológico. ....	57
Figura 14 - Erosividade da chuva na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	60
Figura 15 - Mapa do Fator Erosividade (R) do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	61
Figura 16 - Mapa do Fator Erodibilidade (K) do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	62
Figura 17 - Mapa do Fator Topográfico (LS) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	62
Figura 18 - Práticas conservacionistas (P) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados – RS (1985 – 2015). ....	63
Figura 19 - Uso do solo (Fator C) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015). ....	65
Figura 20 - Perda Potencial de Solo para chuvas máximas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	66
Figura 21 - Perda Potencial de Solo para chuvas médias na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	66
Figura 22 - Perda Potencial de Solo para chuvas mínimas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	67
Figura 23 - Cenários de Uso do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	69
Figura 24 - Perda Potencial de Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	70
Figura 25 - Mapa de Capacidade de Água Disponível para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015). ....	72
Figura 26 - Balanço Hídrico Climatológico para Chuvas Máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	74
Figura 27 - Balanço Hídrico Climatológico para o mês de abril com chuvas máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015). ....	75
Figura 28 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015). ....	76

Figura 29 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).....	78
Figura 30 - Relação Precipitação X Radiação (Temperatura) no Balanço Hídrico Climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).....	79
Figura 31 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).....	80
Figura 32 - Fluxograma de elaboração dos mapas para planejamento ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	86
Figura 33 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso campestre. ....	88
Figura 34 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso floresta/ reflorestamento. ....	89
Figura 35 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso agropecuária. ....	90
Figura 36 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	91
Figura 37 - Áreas não passíveis de uso da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	92
Figura 38 - Mapas por classes de perda potencial de solo do cenário planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	93
Figura 39 - Mapa de classes de perda potencial de solo para o cenário Planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	94
Figura 40 - Mapas por classes do balanço hídrico climatológico (mm) do cenário planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	95
Figura 41 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo. ....	96
Figura 42 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo. ....	98
Figura 43 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo. ....	99
Figura 44 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio. ....	100
Figura 45 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio. ....	102
Figura 46 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio. ....	103
Figura 47 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo. ....	104
Figura 48 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo. ....	105
Figura 49 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo. ....	106
Figura 50 - Coredes com a maior cobertura de florestas plantadas do RS - 2016. ....	108
Figura 51 - Áreas com uso floresta/reflorestamento e passíveis deste uso.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de interpretação dos valores de erodibilidade do solo (K).....	36
Tabela 2 - Características dos solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. .....	41
Tabela 3 - Unidades de mapeamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados.....	43
Tabela 4 - Postos pluviométricos disponíveis.....	44
Tabela 5 - Valores de K para solos para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	48
Tabela 6 - Área correspondente a cada uso do solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	49
Tabela 7 - Classes de declividade e valores de Fragilidade atribuídos por classe....	49
Tabela 8 - Valores de C para uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	49
Tabela 9 - Valores de C para o uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	50
Tabela 10 - Cenários de Uso do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	51
Tabela 11 - Índices do Fator P quanto às práticas conservacionistas.....	52
Tabela 12 - Classes de Perda Potencial de Solo Para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	52
Tabela 13 - Capacidade de Água Disponível (mm) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	54
Tabela 14 - Erosividade da chuva ((Mj.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).....	59
Tabela 15 - Classes de Fragilidade para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	87
Tabela 16 - Área total por classe de perda potencial de solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	93
Tabela 17 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Mín). .....	97
Tabela 18 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Mín)). ..	97
Tabela 19 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Méd.). .....	100
Tabela 20 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Méd.)). .....	101
Tabela 21 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Máx). .....	104
Tabela 22 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Máx)).	105



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS	23
1.1.1	<b>Geral</b>	<b>23</b>
1.1.2	<b>Específicos</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>24</b>
2.1	MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
2.2	PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	25
2.3	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	28
2.4	CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL	30
2.5	EROSÃO HÍDRICA DO SOLO	31
2.6	EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO - USLE	34
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>38</b>
3.1	Fluxograma de abordagem metodológica	38
3.2	Área de estudo	38
3.2.1	<b>Solos</b>	<b>40</b>
3.2.2	<b>Pluviometria</b>	<b>44</b>
3.3	PERDAS DE SOLO POR EROSÃO NA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS	47
3.4	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS	52
3.4.1	<b>Elaboração dos mapas de capacidade de água disponível</b>	<b>54</b>
3.4.2	<b>Elaboração dos mapas de Evapotranspiração</b>	<b>54</b>
3.4.3	<b>Elaboração dos mapas de chuva</b>	<b>56</b>
3.4.4	<b>Balanço Hídrico Climatológico</b>	<b>57</b>
3.5	Análise conjunta dos critérios	58
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>58</b>
4.1	PERDAS DE SOLO POR EROSÃO NA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS	59
4.1.1	<b>Perda potencial de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados</b>	<b>59</b>
4.1.2	<b>Fator R – Erosividade da chuva</b>	<b>59</b>
4.1.3	<b>Fator K – Erodibilidade do solo</b>	<b>61</b>
4.1.4	<b>Fator LS – Fator Topográfico</b>	<b>62</b>
4.1.5	<b>Fator P – Práticas Conservacionistas</b>	<b>63</b>
4.1.6	<b>Fator C – Uso e Manejo do Solo</b>	<b>64</b>
4.1.7	<b>Planejamento de uso do solo</b>	<b>68</b>
4.1.8	<b>Conclusão</b>	<b>71</b>

4.2	BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS .....	71
<b>5</b>	<b>Artigo: PERDAS DE SOLO POR EROÇÃO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO: ANÁLISE PARA TOMADA DE DECISÃO EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA.....</b>	<b>81</b>
5.1	INTRODUÇÃO.....	81
5.2	PLANEJAMENTO AMBIENTAL.....	83
5.2.1	<b>Perda Potencial de Solo por Erosão .....</b>	<b>83</b>
5.2.2	<b>Balanço Hídrico Climatológico .....</b>	<b>83</b>
5.2.3	<b>Zoneamento Ambiental da Silvicultura .....</b>	<b>84</b>
5.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	84
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
5.4.1	<b>Primeira variável de planejamento de uso do solo .....</b>	<b>87</b>
5.4.2	<b>Segunda variável para planejamento de uso do solo.....</b>	<b>94</b>
5.4.3	<b>Critério de planejamento de uso do solo com duas variáveis .....</b>	<b>95</b>
5.5	CONCLUSÃO .....	110
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>111</b>
6.1	CONCLUSÕES.....	111
6.2	RECOMENDAÇÕES .....	112
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>113</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O planejamento de Bacias Hidrográficas, sejam pequenas, médias ou grandes, depende de alguns fatores intrínsecos da região. As condições climáticas e de manejo são os fatores que influenciam diretamente na tomada de decisão quando se trata de modificação do uso do solo. As variáveis precipitação, temperatura, que independem da ação antrópica, estão ligadas ao uso e manejo de solo, e são essas variáveis climatológicas que determinam e influenciam as decisões que serão tomadas em relação ao planejamento de culturas e instalação de projetos agrícolas e florestais.

Para um planejamento adequado a cada local, seja uma bacia hidrográfica ou até mesmo uma propriedade rural, deve-se considerar o uso integrado dos recursos naturais, objetivando assim obter o uso sustentável dos mesmos, baseando-se principalmente da disponibilidade dos recursos hídricos, assim como a conservação e proteção dos mesmos.

Diante do exposto, reconheceu-se a necessidade de elaborar um estudo de caso para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com base no Balanço Hídrico Climatológico (mm) e Perda Potencial de Solo por Erosão ( $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), onde o uso e cobertura do solo é baseado na ocupação agrícola, base da economia regional, com objetivo de testar a combinação de dois critérios.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

Avaliar o uso conjunto das variáveis perda de solo por erosão e balanço hídrico climatológico como subsídio para tomada de decisão no planejamento de uso do solo tendo como estudo de caso a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

### 1.1.2 Específicos

→ Analisar como um método de avaliação de perda potencial de solos pode auxiliar na tomada de decisão para o planejamento ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS;

→ Avaliar como o método balanço hídrico climatológico pode ser um indicador de planejamento;

→ Criar subsídios para tomada de decisão para o planejamento ambiental de bacias hidrográficas, a partir da análise do cruzamento dos dados de potenciais perdas de solo por erosão e balanço hídrico climatológico, tendo como estudo de caso a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS;

→ Propor diferentes usos de cobertura do solo em função dos dados obtidos.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Nas últimas décadas, o cenário mundial de avanços tecnológicos enfatiza assuntos relacionados à preservação ambiental. A gestão ambiental se tornou uma importante ferramenta de modernização e competitividade para as organizações. Fiorillo e Rodrigues (1996) afirmam que a preocupação mundial com o meio ambiente decorre do simples fato de proteger o meio ambiente.

Para que se faça uma gestão ambiental sustentável é necessário que se tenha uma base de dados sólida e as informações sejam socialmente acessíveis, para que instrumentos de gestão possam ser desenvolvidos e aplicados de forma a atender às expectativas e aos desejos da comunidade.

A questão central que deve reger a gestão é a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. A bacia hidrográfica permite essa abordagem integrada, visto que a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural (PORTO e PORTO, 2008). A gestão integrada dos recursos naturais é parte do planejamento de bacias hidrográficas.

Para Rodriguez et al. (2013), o planejamento ambiental integrado de bacias hidrográficas é uma política pública com enfoque integral, pois envolve o planejamento territorial, econômico regional, desenvolvimento urbano e rural, sendo a base para um ordenamento territorial.

A gestão integrada de uma bacia hidrográfica busca aproveitar os recursos hídricos de forma a balancear o seu uso, sendo que as futuras gerações possam usufruir de tais recursos de forma igual ou até melhor do que a atual.



Uma das formas de fazer gestão é com estudos de zoneamento, os quais permitem usufruir dos subsídios gerados pelo planejamento. Planejar envolve pensar antecipadamente o que se deseja alcançar e as formas de atingir esse objetivo, desenhando estratégias e ações futuras. Conforme Mendez (1999), a ideia de planejamento baseia-se na possibilidade de pensar e criar o futuro, tendo como base o conhecimento e valorização do presente, mantendo uma articulação no passado.

Atualmente é possível tratar de uma categoria de planejamento, que segundo Blowers (1993), pode ser denominado de planejamento para o desenvolvimento, tanto econômico, social, ambiental ou integral, visto da ligação entre ambos.

A ação antrópica no meio provoca uma série de modificações no ambiente natural. Dentre as consequências das atividades humanas no meio ambiente pode-se citar a fragmentação das áreas naturais e as drásticas mudanças ocasionadas pelos diferentes usos da terra estabelecidos nos espaços entre os fragmentos naturais remanescentes. A paisagem resultante deste processo compromete a conectividade entre as áreas naturais restantes, dificultando a trânsito das populações de diversas espécies, gerando obstáculos para as atividades vitais, como reprodução e alimentação, resultando na extinção de espécies e de sistemas naturais.

Os instrumentos de gestão territorial são alternativas para compatibilizar a ocupação humana com a conservação da biodiversidade, onde as unidades de paisagem são delimitadas em função das características de cada local.

## **2.2 PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

O zoneamento ambiental se faz necessário em função das características diferentes que uma Bacia Hidrográfica apresenta em sua área. A Política Nacional do Meio Ambiente, Lei no 6.938 de 1981, institui o Zoneamento Ambiental, a fim de que este, articulado aos outros instrumentos por ela propostos, contribua na preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, bem como no desenvolvimento socioeconômico, na segurança nacional e na proteção à dignidade da vida humana. Entretanto, a demora em regulamentar este instrumento, deixou em aberto alguns pontos fundamentais em relação à sua elaboração.

Souza (2009) e Ranieri et al. (2005) comentam que, ao observar os produtos de Zoneamentos Ambientais ou com denominações variantes (Zoneamento

Ecológico-Econômico, somente Ecológico, Geoambiental, entre outros) realizados no Brasil nas últimas décadas, de acordo com os profissionais ou instituições envolvidas em sua elaboração, são encontradas distinções quanto aos recortes territoriais considerados, às escalas, legendas, métodos, objetivos, entre outros fatores. O ponto comum identificado para estes trabalhos é de buscarem incorporar aspectos ambientais na divisão do território em zonas.

Entendido como um instrumento que busca auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento, o Zoneamento Ambiental, segundo Montaño et al (2005), permite a visualização de forma clara, de áreas suscetíveis a processos naturais assim como de áreas com maior ou menor aptidão para a implantação de atividades específicas, de acordo com os níveis de aptidão das áreas para cada atividade.

O zoneamento, segundo Sanchez e Silva (1995), pode ser urbano, periurbano ou mesmo abranger grandes áreas geográficas, servindo como base para os planos diretores de desenvolvimento urbano, municipais ou regionais e é realizado em função de estudos geográficos, ecológicos, demográficos, econômicos e sociológicos, levando em consideração as análises de risco e de vulnerabilidades da região a ser zoneada, podendo também servir como base para um instrumento de planejamento estratégico de um determinado local, buscando a compatibilização entre o desenvolvimento econômico e a qualidade ambiental.

Ainda que seja um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente de suporte à decisão, Montaño et al. (2007) afirmam que o zoneamento só foi efetivamente regulamentado no Brasil pelo Decreto n. 4.297/02, que fez valer a denominação de Zoneamento Ecológico-Econômico e que existem diversas lacunas a serem preenchidas a fim de promover uma maior eficácia a este instrumento, principalmente relacionados a aspectos de ordem técnica e conceitual. Sánchez (2015) diz que, apesar de ter sido criado há mais de vinte anos, a regulamentação da legislação sobre o zoneamento ambiental e sua implementação prática ainda não avançaram substancialmente, principalmente no que se refere à estrutura necessária para sua implementação.

O zoneamento ambiental, como um instrumento estratégico de planejamento, apresenta como principal qualidade a viabilização da inserção da variável ambiental em diferentes períodos do processo de tomada de decisão, desde a formulação de

estratégias de desenvolvimento setoriais até a decisão sobre a ocupação de um sítio específico para a implantação de uma determinada atividade. Silva e Santos (2004) afirmam que a utilização do zoneamento como avaliador do território é comum, visto que é considerado um integrador de informações ambientais, sendo necessário conhecer a qualidade e quantidade dos recursos para definir seus usos.

Segundo Ranieri et al. (2005), a partir do momento em que o zoneamento ambiental indica as áreas com maior ou menor aptidão para atividades específicas, ele pode reforçar ou dispensar a necessidade de realização de um EIA-RIMA, dando base a licenciamentos ambientais simplificados, desde que a magnitude do potencial de causar impactos seja reduzida.

Estudos realizados por Souza (2005), Montañó (2005) e Montañó et al. (2007) afirmam que o zoneamento ambiental é o instrumento mais adequado para a obtenção respostas amplas com relação à viabilidade da ocupação do território em bases ambientalmente sustentáveis, tanto em relação aos fatores ambientais a serem considerados como também na delimitação das áreas de influência e/ou identificação de conflitos.

Na mesma linha está o zoneamento ecológico econômico, que é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. A partir de 2003, os avanços da articulação entre zoneamento ecológico econômico e Gestão Ambiental e Territorial foram notáveis, permitindo a ampliação de projetos em bases mais consistentes. Atualmente, há um diálogo muito mais estreito entre o zoneamento ecológico econômico e a própria política ambiental, sobretudo quanto aos estudos de biodiversidade, licenciamento e monitoramento de projetos, entre o zoneamento ecológico econômico e a política agrícola, através do zoneamento agrícola, entre o zoneamento ecológico econômico e as políticas regionais e de ordenamento territorial. Isso permitiu estabelecer os alicerces para um efetivo salto de qualidade do zoneamento ecológico econômico, tornando-se o maior desafio para seu desenvolvimento nos próximos anos (MMA, 2006).

O zoneamento agroclimático, estabelecido de acordo com a necessidade de cada cultura e do local em que a mesma está inserida, leva em consideração a necessidade climática e hídrica, como principais variáveis limitantes a temperatura e

a água. O Brasil, devido à dimensão territorial, possui um zoneamento distinto para as diferentes regiões e dentro de uma mesma região. As mudanças climáticas também afetam o zoneamento agroclimático. Assad et al. (2004), avaliando o zoneamento agroclimático da soja, verificaram que em 4 estados brasileiros houve uma redução da área apta à produção, em função do aumento da temperatura.

Como o fenômeno da erosão está correlacionado à queda da produtividade agrícola, Silva et al. (2003) afirmam que muitos estudos se concentram na compreensão do fenômeno ou ainda no desenvolvimento de técnicas de recuperação do potencial produtivo em função do processo erosivo, as medidas de controle e de planejamento para o uso adequado das terras são necessárias, como a aplicação de modelos matemáticos, como a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que prediz a perda de solo de uma determinada área em função dos fatores que representam o clima, o solo, o relevo e o uso da terra.

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), quando espacializada por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), tem possibilitado a estimativa de perda potencial de solo em determinada área (PRUSKI et al., 2006), confirmado em estudo realizado por Valle Júnior et al. (2010), possibilitando a estimativa qualitativa do potencial de erosão ocasionado por erosão laminar na bacia do Rio Uberaba. Assim sendo, a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo em escala municipal é válida para estudos qualitativos sobre predição de perdas de solos (FARINASSO, 2005), possibilitando a delimitação e a espacialização de áreas com maior e menor suscetibilidade à erosão, favorecendo o zoneamento ambiental e, conseqüentemente, o planejamento ambiental.

O balanço hídrico climatológico, quando aplicado a uma região, pode ser fator de zoneamento climático, uma vez que a produção agropecuária ou florestal depende da disponibilidade hídrica, sendo fundamental para qualquer estudo de planejamento e gestão de recursos hídricos (YAMADA, 2011).

### **2.3 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO**

A disponibilidade hídrica local pode ser quantificada por meio do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), que evidencia as variações sazonais em função das entradas e saídas de água do sistema, principalmente pela relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (SOUZA et al., 2013).

O balanço hídrico climatológico é uma das informações básicas para o planejamento racional das atividades agrícolas e florestais, pois esta técnica consiste em contabilizar a evapotranspiração contra a precipitação, considerando-se uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo, de forma a determinar a disponibilidade de água às culturas, nas diferentes épocas do ano e a melhor estação de cultivo para uma determinada região (D'ANGIOLELLA e DA SILVA, 2004).

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi desenvolvido por THORNTHWAITE e MATHER (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), e de se ter a medida da chuva total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. A partir dessas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período (PEREIRA, 2005).

Carvalho Neto (2016) desenvolveu um algoritmo em linguagem Python de programação no Software ArcGIS, cuja função é calcular o balanço hídrico climatológico com base nos rasters de capacidade de água disponível, evapotranspiração e precipitação.

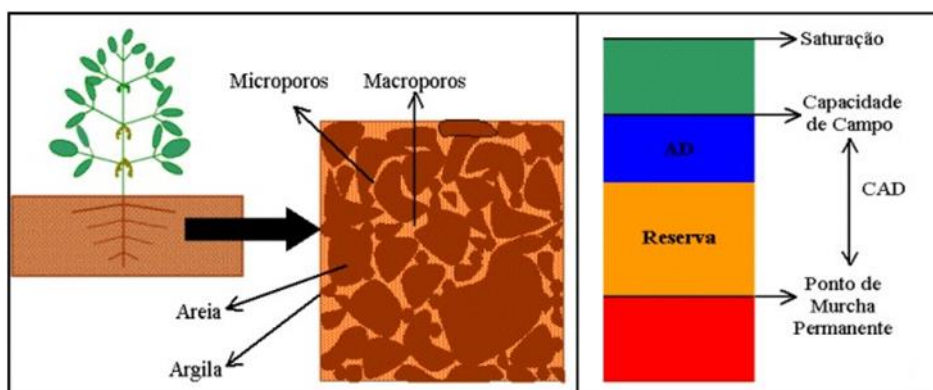
Sendo o solo um reservatório que dificulta a saída de água à medida que vai secando, nos períodos em que a precipitação é menor que a evapotranspiração potencial (ETP), a água retida torna-se uma função dessa demanda potencial e da capacidade de água disponível. Ainda, se houver sequência desses períodos, haverá uma sequência desses valores negativos, denominando-se “perda potencial acumulada” ou “negativo acumulado” (CAMARGO, 1971).

As atividades agrícolas, devido às variações dos elementos climáticos, estão sempre expostas a riscos e insucessos. Dentre os elementos climáticos, a precipitação pode apresentar grande variabilidade. Neste caso, o excesso ou falta de água influencia o sistema solo-planta-atmosfera e reduz a produtividade agrícola. O balanço hídrico climatológico é um método contábil que fornece o saldo de água disponível no solo, em outras palavras, contabiliza a entrada e saída de água numa região (DANTAS et al., 2007).

## 2.4 CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL

Segundo SEMA (2010), a capacidade a água disponível, ou a máxima água disponível para as plantas, representa o limite de água entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), sendo que a partir destes limites pode-se determinar a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, considerando a profundidade do sistema radicular (FIGURA 1).

Figura 1 - Solo e esquema da Capacidade de Água Disponível.



Fonte: Adaptado pelo autor.

Conforme De Souza e Gomes (2008), o solo é armazenador e fornecedor de água e nutrientes às plantas. Por fenômenos de adsorção e capilaridade, entre uma chuva e outra, ele retém a umidade que as plantas necessitam. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorverem água devido ao aumento da força de retenção, enquanto que diminui a disponibilidade hídrica no solo. Devido a isso, nem toda água que o solo consegue armazenar está disponível às plantas (SEMA, 2010). Portanto, a capacidade de armazenamento de água no solo é função da textura do solo e da profundidade das raízes das espécies vegetais que o cobre (ROSSATO, 2001).

Segundo Pereira et al. (1997) apud Rossato (2001), o balanço hídrico climatológico é uma das diversas maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água no solo, simbolizado pelas chuvas (PRE), e da demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração potencial (ETP), e com uma capacidade de água disponível apropriada ao tipo de planta cultivada, o balanço hídrico climatológico

fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência (DEF), do excedente (EXC), e do armazenamento de água no solo (ARM).

## **2.5 EROSÃO HÍDRICA DO SOLO**

Solo é o meio natural para o crescimento e desenvolvimento de diversos organismos vivos e que fornece às raízes fatores de crescimento como suporte, água, oxigênio e nutrientes (LIMA et.al.,2004) e tem por função o armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação, armazenamento de nutrientes para as plantas, ação filtrante e protetora da qualidade da água, matéria prima ou substrato para obras civis (casas, indústrias, estradas), cerâmica e artesanato.

Com o aumento da população mundial, surge a necessidade de aumento da produção de alimentos, tais como: milho, arroz, feijão, soja, café, carnes, dentre outros. Para ocorrer esse aumento de produção, é necessário aumentar a área plantada ou aumentar a produção na mesma área que vem sendo cultivada (CARNEIRO, 2005). As práticas agrícolas, como o preparo do solo, desde a descoberta do Brasil até os dias atuais têm sido realizadas, na maioria das vezes, de forma inadequada, resultando em agressões aos elementos naturais, como as florestas, o solo e a água, em muitos locais, inviabilizando o uso devido práticas de formas inadequadas.

Entende-se por erosão a desagregação, transporte, deposição e a remoção de partículas do solo ou de fragmentos de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo ou organismos. Tais processos são condicionados basicamente por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso do solo nas suas várias formas, desde o desmatamento e a agricultura, até obras urbanas e viárias, que, de alguma forma, propiciam a concentração das águas de escoamento superficial, acelerado pelas ações antrópicas (ARRAES et al., 2010).

Como consequência desse contexto, degradação do solo afeta em diversos processos, tais como: redução de sua fertilidade natural; diminuição da matéria orgânica; perda de solo por erosão hídrica e eólica, contaminação do solo por resíduos urbanos e industriais, alteração do solo para obras civis, como cortes e aterros e a exploração mineral, ou seja, o aumento da população mundial está sendo uma ameaça ao meio ambiente, principalmente ao solo e à água (PEIXOTO, 2014).

A ação da água da chuva sobre os terrenos continua sendo um dos principais agentes da degradação dos solos brasileiros. As terras transportadas dos terrenos pelas enxurradas são, em grande quantidade, depositadas nas calhas dos cursos d'água, reduzindo a capacidade de armazenamento da água da chuva, ocasionando inundações, com graves consequências socioeconômicas. Além disso, junto com a água são arrastados os adubos e materiais orgânicos, contaminando a água (MARCONDES, 2011).

A erosão é a mais preocupante forma de degradação do solo, principalmente quando causada pela gota da chuva e escoamento superficial a ela associado. Tal fenômeno ocorre em geral a partir da interferência antrópica sobre este recurso natural (SILVA et al., 2005), sendo a erosão, a lixiviação, a compactação do solo e a perda de matéria orgânica os principais agravantes. Alguns fatores podem ser determinantes quando se trata de erosão: o clima e sua relação com a precipitação pluviométrica, o solo e sua resistência à degradação, a topografia, relacionada com o grau de declividade e sua rampa e a cobertura do solo.

Conforme Thornes (1990), os processos hidrológicos superficiais e sub-superficiais que ocorrem, principalmente nas vertentes, influenciam diretamente na erosão, variando no espaço e no tempo e respondendo aos fatores controladores da infiltração e do escoamento superficial.

Embora a erosão seja alvo de estudos no mundo como um todo, as peculiaridades de cada local definem os processos erosivos locais, sendo a parcela de erosão um dos métodos de determinação de perda de solo, representando, desta forma, os tratamentos e manejos para determinada área (BEZERRA e BARROS CANTALICE, 2006).

O preparo do solo está entre os componentes de seu manejo mais importantes no processo de produção das plantas cultivadas, normalmente utilizado para criar um ambiente propício à germinação das sementes e ao crescimento das plantas, sendo que influencia diretamente na eficácia da redução da erosão. O preparo mínimo, ou preparo reduzido, assim como o plantio direto, atuam como fatores de redução da erosão do solo, melhorando a qualidade dos mesmos (AMARAL et al., 2008).

As perdas de solo de uma bacia hidrográfica são diretamente influenciadas pelo manejo de solo em que a área está submetida. A erosão hídrica está



condicionada pelos fatores chuva, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas de suporte (HUDSON, 1977).

A cobertura do solo, proporcionada pelos resíduos das culturas deixados na superfície, tem ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, pois promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, reduzindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, aumentando a infiltração de água. Porém, a proteção na superfície do solo irá depender do grau de incorporação dos resíduos culturais, bem como do método de preparo (COGO et al., 2003).

Em estudo realizado por Pires et al. (2006), quando avaliadas perdas de solo e água por erosão hídrica, sob chuva natural, em diferentes sistemas de manejo de florestas de eucalipto, em relação à mata nativa, pastagem e solo descoberto, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, observou-se que o plantio de eucalipto em nível é o que mais se assemelha a mata nativa em termos de perdas de solo, indicando maior sustentabilidade desse sistema no que diz respeito à erosão hídrica. Já os maiores valores de perdas de solo foram encontrados no sistema eucalipto plantados na direção do declive com queima de restos culturais, sendo que todos os sistemas de manejo do eucalipto estudados apresentaram perdas de solo muito inferiores ao valor limite de tolerância.

Estudo realizado por Cogo et al. (2003) comprova que as perdas de solo por erosão hídrica são mais elevadas no preparo convencional, intermediárias no preparo reduzido e mais baixas na semeadura direta, sendo que o aumento da perda de solo com o aumento dos valores das classes de declividade do terreno foi maior no preparo convencional do que no preparo reduzido e na semeadura direta.

Alguns estudos concluíram, por meio de análises físicas do solo, que em solos com técnicas conservacionistas de manejo, como o cultivo mínimo, ocasionam menor impacto, apresentando assim um melhor comportamento hidrológico, sendo este estudo um indicativo para minimizar os processos erosivos e maximizar o potencial hidrológico, de modo a aumentar o potencial produtivo e reduzir o abandono dessas áreas (DOS SANTOS PEREIRA e RODRIGUES, 2014; MACHADO e STIPP, 2010; ANDREOLA e FERNANDES, 2007; RICHART et al., 2005).

Da mesma forma, em estudos que buscavam avaliar a influência da cobertura do solo em processos hidrológicos, Reichert et al. (2017) concluíram que em solos

com cobertura por plantio de *Eucalyptus* sp. há uma maior quantidade de água da chuva interceptada quando comparada a áreas de pastagens, tanto nativa quanto degradada e mesmo que a bacia hidrográfica da floresta tenha maior evapotranspiração em comparação com a bacia hidrográfica das pastagens, podem ser destacados benefícios como menor fluxo na bacia hidrográfica da floresta. Assim, o cultivo de eucalipto pode proporcionar melhores condições estruturais e cobertura do solo quando comparada a cobertura por pastagem, maior infiltração e retenção de água no solo e aumento da recarga de águas subterrâneas com conseqüente redução da degradação do solo por erosão e aumento da disponibilidade de água, especialmente durante os períodos de seca.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) descrevem as formas de erosão hídrica, sendo elas: erosão pelo impacto da gota da chuva, erosão laminar, erosão em sulcos e voçorocas. A ocorrência de cada uma das formas de erosão está associada ao tipo de solo, ao manejo e cobertura do solo, a topografia do terreno, intensidade da chuva, níveis de fertilidade (COGO et al., 2003; GUADAGNIN et al., 2005; SANTOS et al., 2010; VANZELA et al., 2010), corroborando com estudo de Pinheiro et al. (2009), que avaliaram a infiltração de água em diferentes usos de solo no Município de Lontras – SC, aferindo que os maiores valores foram obtidos em áreas de mata nativa, e os menores em áreas de pastagem, assim como os valores foram maiores para áreas agrícolas de cultivo mínimo quando comparadas com áreas de preparo intenso.

Segundo Lima et al. (1992), no Rio Grande do Sul a erosividade das chuvas concentra-se mais na época de implantação e desenvolvimento das culturas de primavera-verão, aumentando o potencial de erosividade neste período, sendo que os principais fatores que interferem na erosão hídrica do solo são: chuva, infiltração, topografia do terreno, cobertura vegetal e natureza do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

## **2.6 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO - USLE**

Uma das formas de se avaliar a perda anual de solo consiste em utilizar modelos de simulação para apresentar matematicamente o processo de erosão hídrica, sendo que um dos mais empregados no mundo é a USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier e Smith, 1978), sendo a erosividade do solo (fator R), erodibilidade do solo (fator K) associados a um fator que considere a cobertura e

manejo do solo (fator C) são variáveis do modelo. A seguir, faz-se uma apresentação mais detalhada desse modelo, que é utilizado nesta pesquisa.

A Equação Universal da Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) é um dos modelos de predição da erosão mais conhecidos e utilizados no mundo. O modelo foi obtido a partir de observações de perda de solo em mais de 10.000 parcelas padrão, com 3,50 metros de largura; 22,10 metros de comprimento e 9% de declividade, localizadas em todas as regiões dos Estados Unidos (Wischmeier & Smith, 1978). Trata-se de um modelo matemático obtido por meio de análises estatísticas de dados experimentais e desenvolvido para ser usado no planejamento de medidas de conservação do solo. A equação é expressa por:

$$A = R K L S C P$$

Onde:

**A** = representa a estimativa de perda média anual de solo em determinada área, em condições específicas de uso e ocupação do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ );

**R** = Erosividade da chuva ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ );

**K** - Erodibilidade do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}\text{MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{há h}$ );

**L** = Comprimento de rampa (m) – relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 22,10 metros para o mesmo solo e grau de declividade;

**S** = Declividade de rampa (%) - relação de perdas de solo de um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo comprimento de rampa;

**C** = Uso e manejo do solo (0 a 1) – relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, ou seja, nas mesmas condições em que o Fator K é avaliado;

**P** = Práticas conservacionistas (0 a 1) – representa os efeitos das práticas conservacionistas como plantio em nível, terraceamento e plantio em faixas na erosão do solo, expressando a relação entre a perda de solo com determinada prática conservacionista e a correspondente perda quando a cultura está implantada no sentido do declive (morro abaixo).

### Fator R – Erosividade da chuva

A chuva é responsável pelo processo erosivo que mais afeta o solo, a erosão hídrica. Um dos parâmetros presente neste modelo que utiliza essencialmente a variável chuva é o fator R ou fator erosividade da chuva, que representa, em forma numérica, o quanto determinada chuva pode ser prejudicial ao solo.

Denomina-se erosividade da chuva a capacidade potencial das chuvas em causar erosão (CASSOL et al., 2007) e expressa a capacidade de a chuva erodir um solo desprotegido. Este fator pode ser considerado alicerce da USLE, pois a água da chuva age como componente erosivo por meio do impacto das gotas ao solo e da geração do escoamento superficial (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2014; MORGAN, 1997).

### Fator K – Erodibilidade do solo

Erodibilidade é uma propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade à erosão, enquanto que o fator erodibilidade do solo é representado pela relação entre a perda de solo e a erosividade da chuva, quando tais dados são obtidos individualmente para cada chuva, sendo quantificado nas condições de parcela padrão, que é a unidade fundamental de pesquisa de erosão, preconizada pela equação universal de perda de solo (MANNIGEL et al., 2008).

O Fator K (erodibilidade do solo) apresenta variação dependendo das características intrínsecas do material que constitui cada tipo de solo. Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas. Essa diferença é devido às propriedades inerentes ao solo que afetam a maior ou a menor facilidade à erosão. Estas propriedades estão relacionadas à velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Conforme Carvalho (1994), a erodibilidade do solo pode ser classificada de baixa a alta (TABELA 1).

Tabela 1 - Classes de interpretação dos valores de erodibilidade do solo (K).

<b>Intervalos de K (t.ha.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Classes de interpretação</b>
K < 0,0198	Erodibilidade baixa

0,0198 < K < 0,040  
K > 0,040

Erodibilidade média  
Erodibilidade alta

---

Fonte: Carvalho (1994).

### Fator LS - Fator topográfico

O Fator LS é constituído por duas variáveis, o comprimento de rampa (L) e a declividade (S). O aumento do comprimento de rampa acelera a erosão, pois aumenta o volume de água que escoar através de uma secção transversal a vertente e, conseqüentemente, aumenta a capacidade de desagregar e carrear partículas de solo.

Considerando uma mesma categoria de uso do solo (fatores C e P constantes), o fator topográfico (LS) proporciona maior influência na variação da perda de solo (WEILL e SPAROVEK, 2008). O aumento do fator topográfico pode produzir maior velocidade de escoamento superficial e erosão. Além disso, a perda de solo é consideravelmente mais sensível às mudanças de declividade do que a mudanças no comprimento de rampa (VAN REMORTEL et al., 2004).

### Fator C – Uso do solo (C) e Práticas conservacionistas (P)

O fator CP (uso do solo e práticas conservacionistas) é a relação esperada entre as perdas de solo em áreas com cultivos e vegetação, com áreas descobertas. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (CEMIN et al., 2013).

A cobertura vegetal exerce uma importante função na atenuação das perdas de solo, constituindo um sistema natural contra a erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), os efeitos da vegetação podem ser assim apresentados: proteção indireta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração, melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; redução da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento da infiltração. Em áreas sem nenhuma vegetação o fator C tende a 1 e em áreas de florestas virgens tem um valor de C próximo a 0,0001.

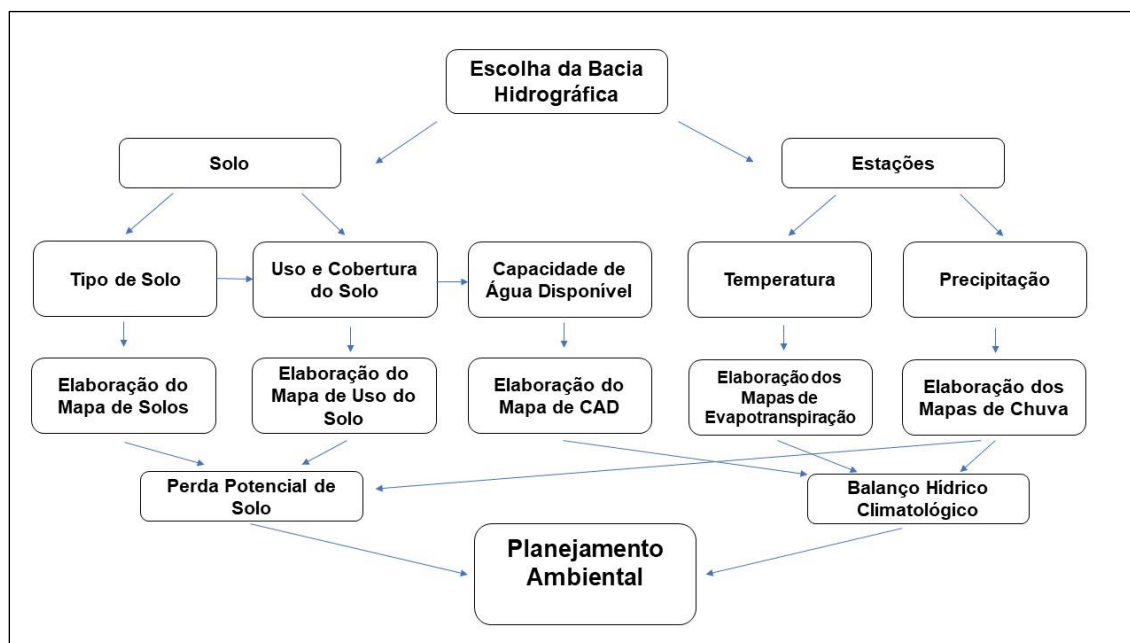
O fator práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive, sendo valor mínimo 0 (zero) e valor máximo 1 (um). As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são os plantios em contorno, plantios em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas (Paiva, 2001).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Fluxograma de abordagem metodológica

Na Figura 2 observa-se o fluxograma de elaboração do trabalho, de acordo com a metodologia utilizada.

Figura 2 - Fluxograma de abordagem metodológica.



Fonte: O autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

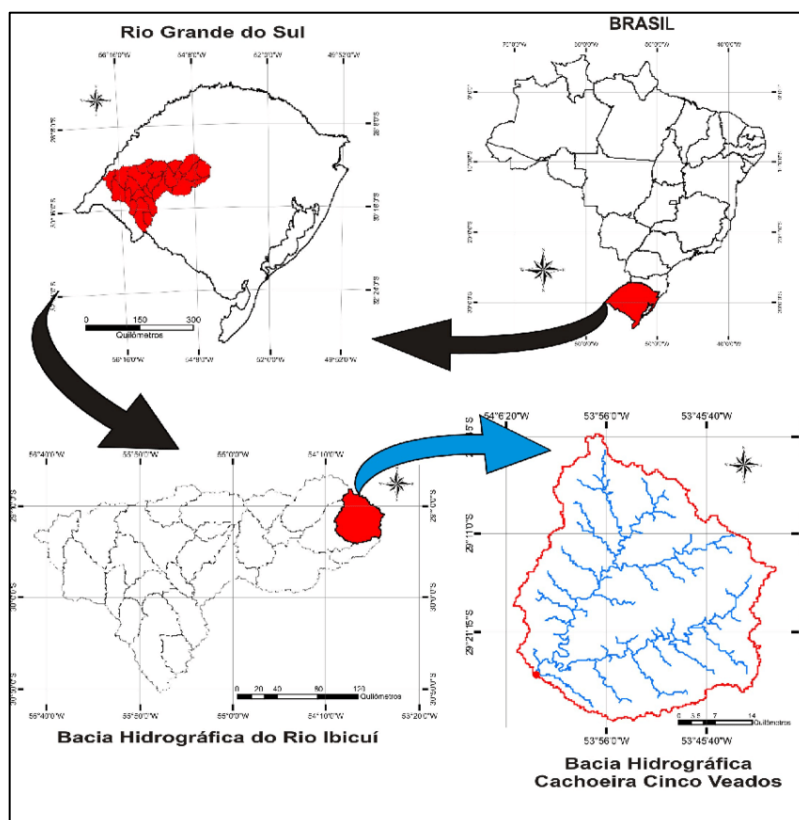
#### 3.2 Área de estudo

A região hidrográfica do Ibicuí está situada na Região Hidrográfica do Uruguai, no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°53' e 30°51' de latitude Sul e 53°39' e 57°36' de longitude Oeste de Greenwich. Na Divisão Hidrográfica do Estado, proposta pela Comissão Consultiva do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, a bacia é identificada com a sigla U-50. É a principal

contribuição da margem esquerda do rio Uruguai em território brasileiro, com 35.062,51 Km<sup>2</sup> de área de drenagem. Os principais formadores do Rio Ibicuí são os Rios Toropi, Jaguari, Ibicuí-Mirim, Ibirapuitã e Santa Maria (UFSM, 2005).

Pertencente à bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, (Figura 3) está situada na Região Hidrográfica do Uruguai e abrange quatro municípios: Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos e São Martinho da Serra. Suas coordenadas geográficas são 29°00' e 29°30' de latitude Sul e 53°39' e 54°06' de longitude Oeste, estando estas sob o SIRGAS 2000, base para todo o mapeamento realizado no trabalho.

Figura 3 - Localização da área de estudo.



Fonte: O autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A área de drenagem da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, é de 1.541,9 Km<sup>2</sup>, destacando-se os rios Toropi e Guassupi (WEILER, 2017), sendo que o exutório da bacia se localiza nas coordenadas 29°25'38,755" S e 54°3'13,991" W, distante aproximadamente 90 Km da sede da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

A bacia Cachoeira Cinco Veados, embora esteja em área de serra, está inserida no Bioma Pampa e sua vegetação característica local sofreu modificações antrópicas, passando na sua grande maioria de campos característicos do bioma para áreas cultivadas (MMA, 2007), principalmente por monoculturas agrícolas, base da economia da região.

Quanto à geologia e geomorfologia, a bacia do Rio Ibicuí possui na região sudeste rochas metamórficas intensamente dobradas, formando a Serra do Sudeste. Seguindo o contorno da Serra do Sudeste, encontra-se a Depressão Central Gaúcha onde, em sua maior parte, há afloramento da Formação Rosário do Sul. A Formação Botucatu ocorre acompanhando a Formação Serra Geral, a noroeste da bacia. A Formação Serra Geral ocorre em toda a região planáltica que ocupa a parte norte e oeste da bacia do Ibicuí. A nordeste, sobre o Planalto das Missões, encontra-se a formação Tupanciretã (UFSM, 2005).

### 3.2.1 Solos

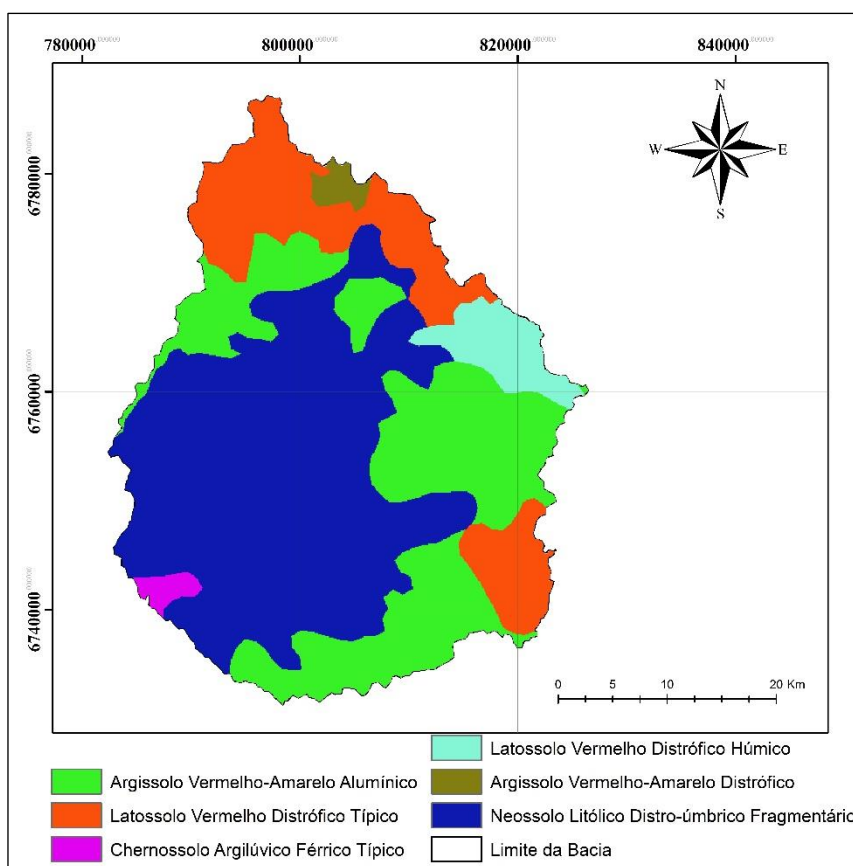
Conforme Weiler (2017), na Bacia Cachoeira Cinco Veados há uma predominância do solo Neossolo U. M. Guassupi, com área de 738,06 Km<sup>2</sup>, correspondendo a quase metade da área total da bacia (47,89%). Já na área no entorno do exutório há predominância do solo Chernossolo U. M. Ciríaco-Charrua, que corresponde à 0,89% da área total (13,8 Km<sup>2</sup>),

Para a elaboração dos mapas de solos da Bacia Hidrográfica Cachoeira Cinco Veados, dividiu-se em Latossolo, Neossolo, Chernossolo e Argissolo, caracterizados na Tabela 2, em função do tamanho da área de estudo e do objetivo do trabalho de macroplanejamento de uma grande área. Em casos onde o planejamento é para uma pequena área é viável trabalhar com coletas de campo e assim subdividir a área de acordo com os critérios adotados para o estudo em questão.

O mapa de classificação dos solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, (FIGURA 4) foi elaborado segundo o mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul – escala 1:750.000 (Brasil, 1973) digitalizado pela EMBRAPA – CNPT em 1999 e baseado em Brasil, 1973; Streck et al., 2008.



Figura 4 - Mapa de solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018. (Baseado em Brasil, 1973; Streck et al., 2008).

Tabela 2 - Características dos solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Solos	Características
<b>Latossolo Vermelho Distrófico Típico/ Húmico</b>	Solos bem drenados, normalmente profundos a muito profundos, com pouco ou nenhum incremento de argila e apresentam uma transição difusa ou gradual entre os horizontes. Encontram-se na Região do Planalto Médio e das Missões. Possuem boa aptidão agrícola, desde que corrigida a fertilidade química. Por

apresentarem textura mais arenosa, são muito pobres em fertilidade e mais susceptíveis a erosão.

---

**Argissolo  
Vermelho-  
Amarelo  
Distrófico/  
Alumínico**

Solos geralmente profundos a muito profundos, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados. Apresentam perfil com gradiente textural, com horizonte B mais argiloso que os horizontes A e E. Devido a alta susceptibilidade à erosão e degradação, principalmente nos Argissolos arênicos e espessarênicos (Unidade Tuia), com mudança textural abrupta, o uso de culturas anuais exige o uso de terraços vegetados e cultivos em faixas com plantio direto, em declividades até 10%. No inverno, aconselha-se intercalar os cultivos anuais com plantas protetoras e recuperadoras de solo, e no verão com outras plantas ou pastagens.

---

**Neossolo  
Litólico  
Distro-  
úmbrico  
Fragmentário**

Solos rasos a profundos, de formação recente e dos mais variados tipos de rochas, sendo encontrados em diversas condições de relevo e drenagem. A Unidade Guassupi encontra-se na transição de Planalto para a Encosta Inferior do Nordeste. Os Neossolos Litólicos com sequência de horizontes A-R, apresentam fortes restrições a culturas anuais, devido à pouca profundidade efetiva para o desenvolvimento de raízes e para o armazenamento de água e sua ocorrência se dar em regiões de relevo forte ondulado e montanhoso, em geral com afloramento de rochas, devem ser mantidos sob preservação permanente.

---

**Chernossolo  
Argilúvico  
Férrico  
Típico**

Solos rasos a profundos, apresentam razoáveis teores de material orgânico, o que confere cores escuras ao horizonte superficial, que é do tipo A chernozênico. Possui alta fertilidade química e alta CTC em todo o perfil. Encontram-se nas encostas do Vale do Uruguai e da Serra do Mar, e na Encosta Inferior do Noroeste. Exige práticas conservacionistas intensivas, por ocuparem áreas de relevo ondulado e fortemente ondulado, o que dificulta a mecanização. Oferecem condições para uso com culturas anuais, fruticultura, pastagem e reflorestamento.

---

Fonte: Baseado em Brasil (1973); Streck et al. (2008).

Observa-se a predominância do Neossolo Litólico Distro-úmbrico, com área de abrangência de 737,98 Km<sup>2</sup>, equivalendo a 47,86% da área total da Bacia Cachoeira Cinco Veados. O solo que abrange menor área é do tipo Chernossolo Argilúvico Férrico, com área de 13,75 Km<sup>2</sup> (0,89% da área total da bacia), localizado próximo ao exutório.

As seis unidades de mapeamento de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados estão descritas na Tabela 3.

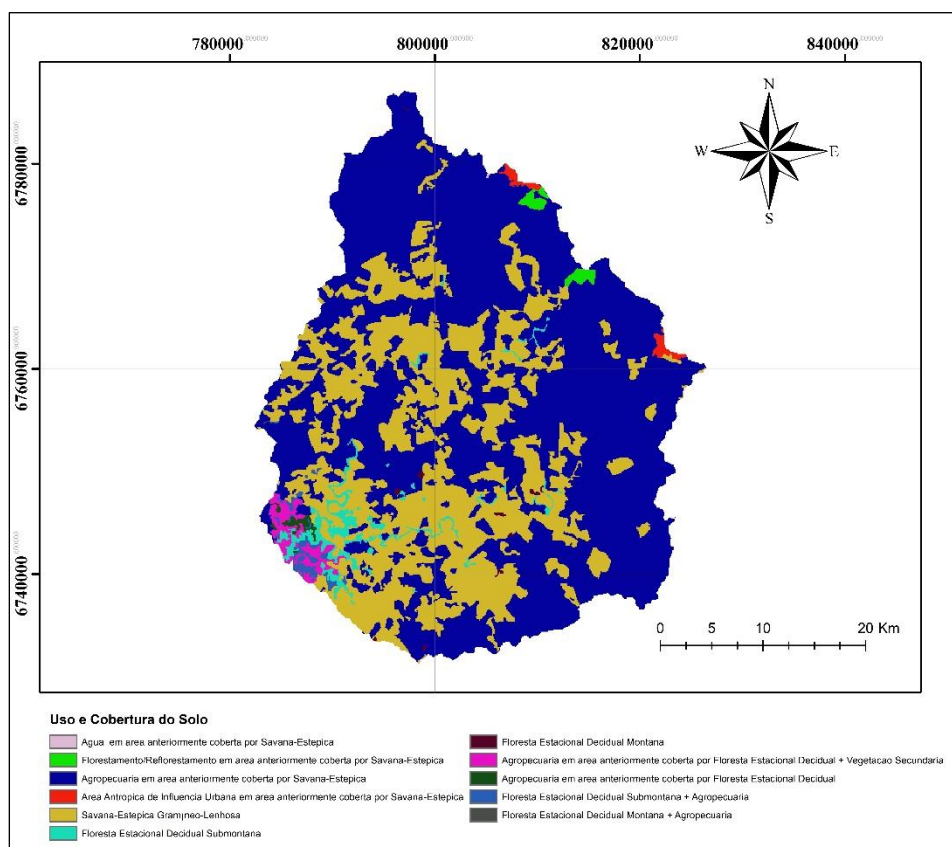
Tabela 3 - Unidades de mapeamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Nº Perfil	Unidade de Mapeamento	Classificação dos Solos	
		Brasil (1973)	SiBCS (2006)
RS 38	Ciríaco-Charrua	Solos Litólicos Eutróficos Textura média	Neossolo Litólico Eutrófico Fragmentário ou típico
RS 6	Cruz Alta	Latossolo Vermelho Escuro Distrófico textura média	Latossolo Vermelho Distrófico típico
RS 78	Guassupi	Solos Litólicos Distróficos Textura média	Neossolo Litólico Distro-úmbrico fragmentário
RS 50	Júlio de Castilhos	Podzólico Vermelho Amarelo Álico textura argilosa	Argissolo Vermelho- Amarelo Alumínico úmbrico
RS 22	Passo Fundo	Latossolo Vermelho Escuro Distrófico textura argilosa	Latossolo Vermelho Distrófico húmico
RS 52	Tuia	Podzólico Vermelho Amarelo abrupto textura média	Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico arênico abrupto

Fonte: Streck *et al* (2008), (Baseado em Weiler, 2017).

Na Figura 5 verifica-se que a predominância de uso do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados é com agropecuária, correspondendo a 65,02% da área total da bacia, seguido pelo uso campestre (31,56%).

Figura 5 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018. (Baseado em Weiler, 2017).

### 3.2.2 Pluviometria

Para a elaboração dos mapas de chuva para os cenários de planejamento do uso do solo estudados, utilizou-se o banco de dados de precipitação média mensal da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, disponíveis nas estações pluviométricas dispostas na Bacia (Tabela 4) e nas proximidades, conforme Figura 6, para uma série de 30 anos (1985-2015).

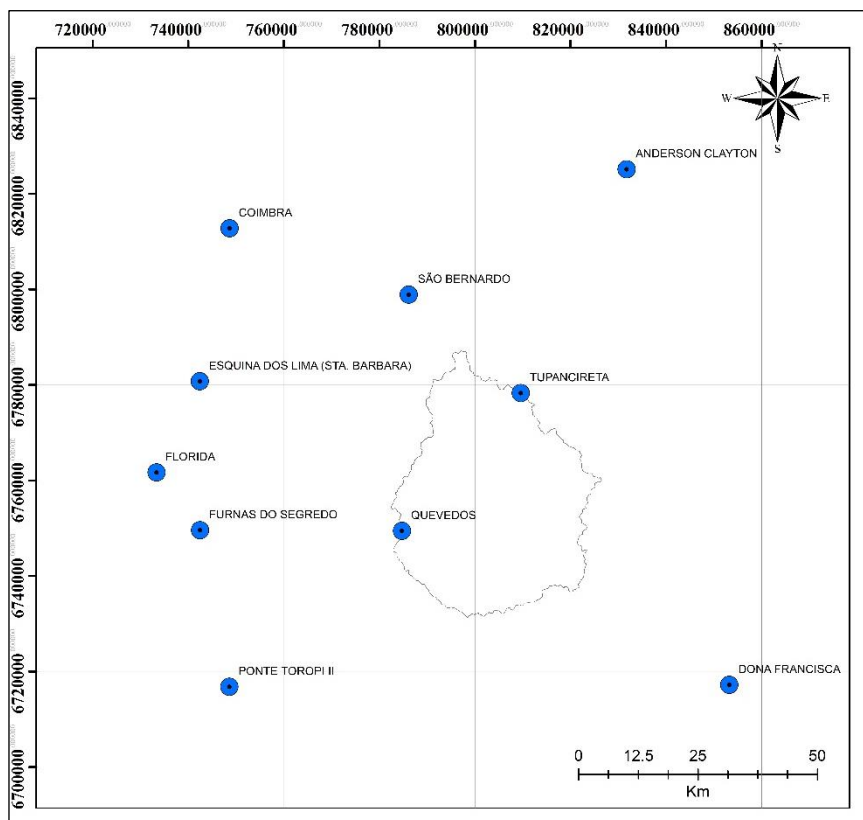
Tabela 4 - Postos pluviométricos disponíveis.

Código	Nome	Bacia	Sub-Bacia	Estado	Município	*Resp.	*Oper.	*Lat. (S)	*Long. (W)	*Alt. (m)
2850028	Anderson Clayton	Rio Uruguai	75	RS	Cruz Alta	ANA	CPRM	28°39'28"	53°36'21"	440

2854012	Coimbra	Rio Uruguai	75	RS	São Miguel das Missões	ANA	CPRM	28°47'16"	54°27'9"	300
2854013	São Bernardo	Rio Uruguai	75	RS	Tupanciretã	ANA	CPRM	28°54'19"	54°3'54"	530
2953008	Dona Francisca	Atlântico	85	RS	Dona Francisca	ANA	CPRM	29°37'28"	53°21'7"	25
2953030	Tupanciretã	Rio Uruguai	75	RS	Tupanciretã	ANA	CPRM	29°5'8"	53°49'9"	469
2954005	Furnas do Segredo	Rio Uruguai	76	RS	Jaguari	ANA	CPRM	29°21'32"	54°30'7"	300
2954019	Quevedos	Rio Uruguai	76	RS	Júlio de Castilhos	ANA	CPRM	29°21'5"	54°4'1"	408
2954030	Florida	Rio Uruguai	76	RS	Santiago	ANA	CPRM	29°15'6"	54°35'54"	370
2954031	Esquina dos Lima	Rio Uruguai	75	RS	Capão do Cipó	ANA	CPRM	29°2'53"	54°34'15"	420
2954032	Ponte Toropi II	Rio Uruguai	76	RS	São Pedro do Sul	ANA	CPRM	29°39'12"	54°25'53"	40

Fonte: Baseado em ANA (2001).

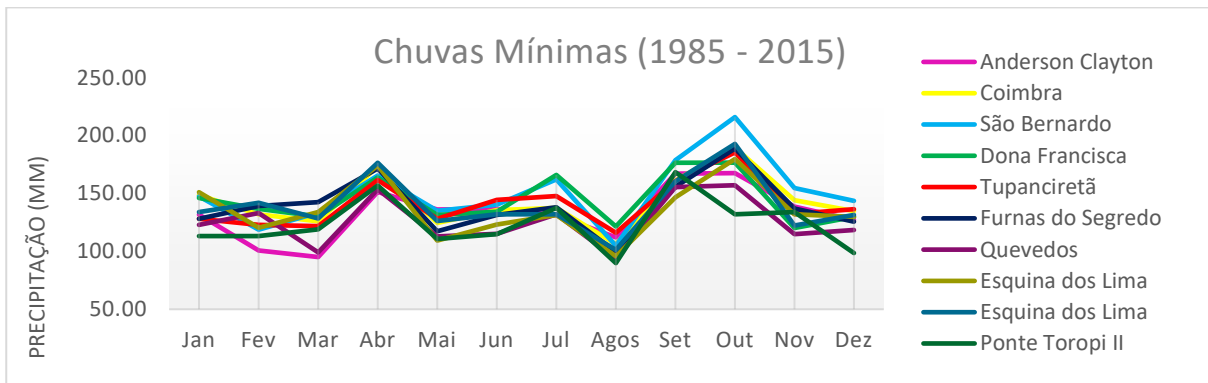
Figura 6 - Mapa das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do Fator R.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSC, 2018.

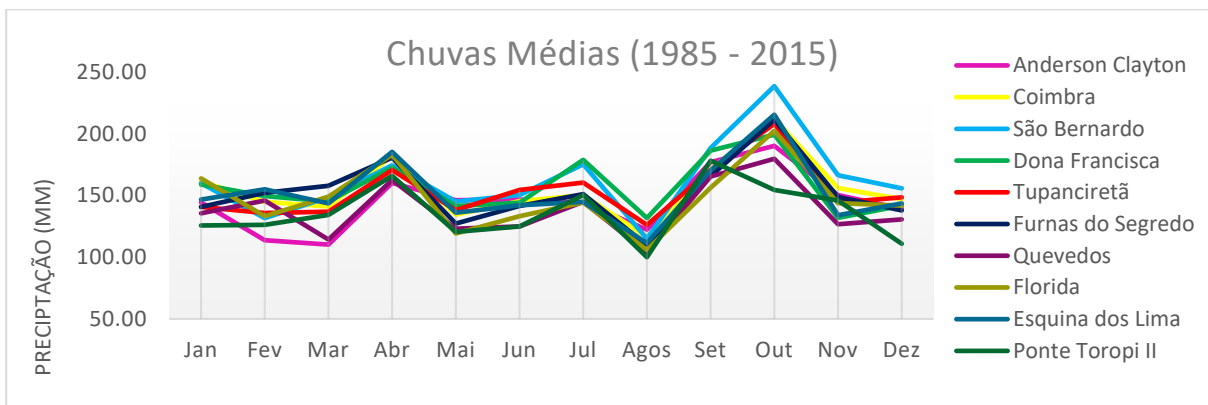
A partir dos dados para a série histórica (1985 – 2015), calcularam-se as chuvas médias mensais (Figura 8). Com base nas chuvas médias obtiveram-se as chuvas mínimas médias (FIGURA 7) e as máximas médias (FIGURA 9) para o mesmo período, por meio do intervalo de um desvio padrão da média mensal, respectivamente para menos e para mais.

Figura 7 - Chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015).



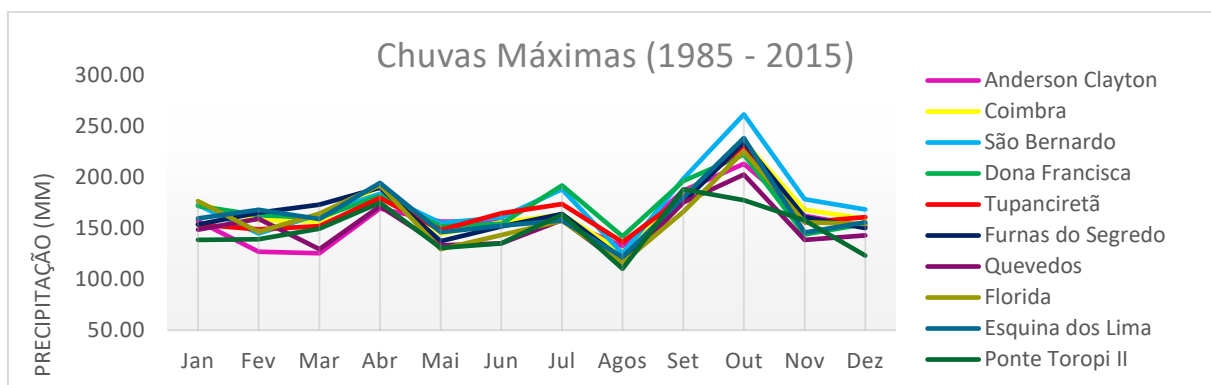
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Figura 8 - Chuvas médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Figura 9 - Chuvas máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. (1985 – 2015).



Fonte – Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

### 3.3 PERDAS DE SOLO POR EROSÃO NA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS

Para elaboração de estudos baseados em perdas de solo por erosão, destaca-se a importância de utilizar dados de perdas máximas, ou seja, chuvas máximas, que são as condições que propiciam essas perdas, fazendo com que se desenhem quadros de criticidade reais que possam ocorrer na área a ser planejada, trabalhando-se assim com eventos extremos e o mínimo de falhas em tais planejamentos.

O uso da equação de perda de solo justifica-se pela possibilidade de definir cenários, onde por meio dos mesmos é possível identificar usos alternativos e auxiliar a tomada de decisão em processo de planejamento ambiental, seja para agricultura, para florestamento, licenciamento ou mesmo zoneamento ambiental. O planejamento que estimula a conservação do solo determina as condições em que a bacia hidrográfica irá se comportar em relação às ações que serão tomadas a partir dos cenários, baseadas nas perdas de solo por erosão e o balanço hídrico climatológico. Nos cenários concebidos para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, utilizando o modelo especializado em SIG da Equação Universal de Perda de Solo – USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978), determinou-se a perda potencial de solo para a bacia.

Os mapas de perdas de solo para os usos atuais da Bacia Cachoeira Cinco Veados foram elaborados segundo a metodologia proposta por Weiler (2017), sendo que a autora testou metodologias semelhantes (Cassol (2007), Santos (2008), Rufino et al. (1993)). Os valores de R (erosividade do solo) médios foram encontrados por Weiler (2017), seguindo a metodologia de Rufino et al. (1993). Optou-se por adotar

essa metodologia exatamente por serem valores médios de erosividade, e assim não sub e nem superestimar valores para a Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Os valores de K (Erodibilidade do solo) (FIGURA 10) seguiram trabalho desenvolvido por Weiler (2017), baseando-se em trabalhos de outros autores (DENARDIN e WUNSCHE, 1981; DENARDIN, 1990; TOMAZONI et al., 2005; PRADO e NÓBREGA, 2005; LINO, 2010; FRANCO et al., 2012, DIDONÉ, 2013; PASQUATO e TOMAZONI, 2016), conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de K para solos para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Solos	Unidade de Mapeamento (Brasil, 1973)	Classificação (Streck et al., 2008; SiBCS, 2006)	K (t.ha.Mj <sup>1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Autor
Latossolo	Cruz Alta	Vermelho Distrófico típico	0.02078	Denardi e Wunsche (1981); Denardin (1990); Tomazoni et al, (2005; Lino (2010), Didoné (2013)
	Passo Fundo	Vermelho Distrófico húmico	0.0226	
Argissolo	Tuia	Vermelho-Amarelo Distrófico arênico abruptico	0.02857	Prado e Nóbrega (2005); Lino (2010)
	Julio de Castilhos	VermelhoAmarelo Alimínico úmbrico	0.3119	Franco et al. (2012); Didoné (2013)
Neossolo	Guassupi	Litólico Distro-úmbrico fragmentários típicos	0.0328	Lino (2010); Pasquato e Tomazoni (2016)
Chernossolo	Ciríaco Charrua	Argilúvico Férrico típico	0.0454	Tomazoni et al. (2005); Lino (2010)

Fonte: Weiler, 2017.

Para elaboração dos mapas, tanto de perdas de solo por erosão, quanto do balanço hídrico climatológico, trabalhou-se inicialmente com a situação atual da Bacia Cachoeira Cinco Veados, posteriormente com cenários de situações de mudanças de cobertura do solo. A área correspondente a cada uso está apresentada no Tabela 6. Para a interpolação dos dados utilizou o interpolador IDW - Inverse Distance Weigthed, que é uma ferramenta matemática que atribui valores relativos as variáveis inseridas em campos de valores já existentes, transformando dados discretos em contínuos, descritos por Weiler (2017).



Tabela 6 - Área correspondente a cada uso do solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Cenário Atual</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Campestre</b>	486,65	31,56
<b>Floresta/ Reflorestamento</b>	46,51	3,02
<b>Agropecuária</b>	1002,62	65,02
<b>Antrópico Urbano</b>	6,12	0,40
<b>Total</b>	1541,90	100

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

As classes de declividade consideradas para este trabalho foram definidas pela EMBRAPA SOLOS (0-3; 3-8; 8-20; 20-45; 45-75 e maior que 75%), adotada por Weiler (2017), conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Classes de declividade e valores de Fragilidade atribuídos por classe.

<b>Classes de Declividade (%)</b>	<b>Tipo de Relevo</b>	<b>Área</b>	
		<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
0 - 3	Plano	434,63	28,19
3 - 8	Suave ondulado	828,12	53,71
8 - 20	Ondulado	263,96	17,12
20 - 45	Forte Ondulado	14,55	0,94
45 - 75	Montanhoso	0,63	0,04
> 75	Forte Montanhoso	0,01	0,001

Fonte: Adaptado de Weiler (2017).

O Fator C (uso do solo) assumiu valores para cada uso atual da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (WEILER, 2017), conforme Tabela 8. Os valores de C foram obtidos por meio de revisão bibliográfica de trabalhos como de Costa et al., (2005); Stein et al., (1987); Lino (2010); Castro e Valério Filho (1997); Didoné (2013), levantados de forma mais condizente possível com a área de estudo em questão (TABELA 9).

Tabela 8 - Valores de C para uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Uso do Solo</b>	<b>Fator C</b>
Campestre	0,08285

Floresta/ Reflorestamento	0,03270
Agropecuária (SPS)	0,0155
Antrópico Urbano	0,03672

Fonte: Weiler, 2017.

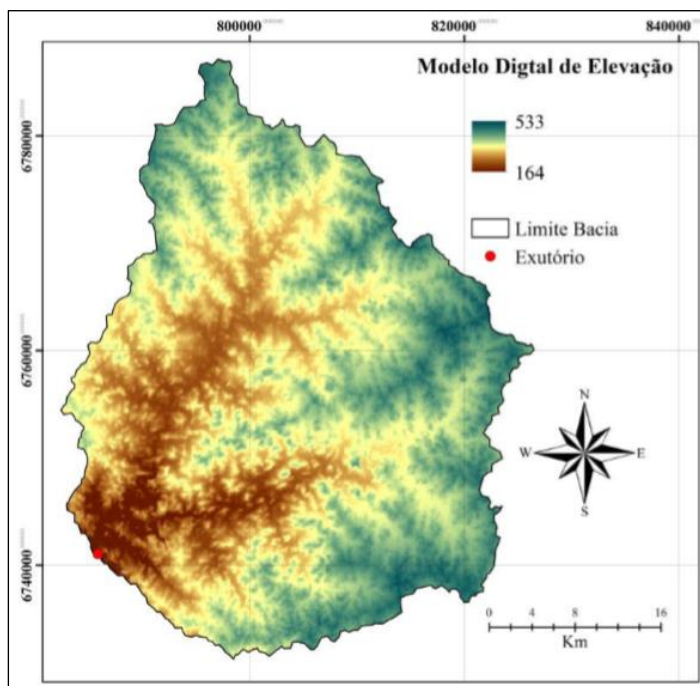
Tabela 9 - Valores de C para o uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Uso do Solo	Fator C	Autores	C
Campestre	(0.01) (0.26) (0.0194) (0.042)	Stein et al., (1987); Costa et al., (2005)	0.08285
Floresta/ Reflorestamento	(0.0001) (0.010) (0.05) (0.08) (0.03241)	Stein et al., (1987); Lino (2010); Castro e Valério Filho (1997)	0.0327
Agropecuária	Soja/Pastagem/Soja - (0.0155)	Didoné (2013)	0.0155
Antrópico Urbano	(0) (0) (0) (0.2) (0.003) (0.0075) (0.010) (0.1) (0.01)	Stein et al., (1987); Costa et al., (2005)	0.03672

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

O mapa do Fator LS (topográfico) foi elaborado em função do Modelo Digital de Elevação para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (FIGURA 10).

Figura 10 - Modelo Digital de Elevação da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Weiler, 2017.

Foram definidos cenários de uso do solo na bacia para simulação das perdas com objetivo de auxílio em estudos e planejamento de bacias. Para cada cenário de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, realizou-se a simulação para toda a bacia coberta pelo uso testado em cada cenário e assim estimar as perdas de solo para cada situação. Cada cenário foi concebido assumindo-se que, exceto o uso antrópico urbano, toda a bacia passaria a ser ocupada por um único tipo de cobertura: floresta/reflorestamento, campestre e agropecuária (soja/pastagem/soja), conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Cenários de Uso do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Cenário atual</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Campestre	486.65	31.56	Cenário atual da bacia
Floresta/Reflorestamento	46.51	3.02	
Agropecuária (SPS)	1002.62	65.02	
Antrópico Urbano	6.12	0.39	
<b>Total</b>	<b>1541.9</b>	<b>100</b>	
<b>Cenário 1</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Floresta/Reflorestamento	1535.78	99.61	Simulação de toda bacia com Floresta/ Reflorestamento, exceto uso antrópico urbano
Antrópico Urbano	6.12	0.39	
<b>Total</b>	<b>1541.9</b>	<b>100</b>	
<b>Cenário 2</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Campestre	1535.78	99.61	Simulação de toda bacia com uso campestre, exceto uso antrópico urbano
Antrópico Urbano	6.12	0.39	
<b>Total</b>	<b>1541.9</b>	<b>100</b>	
<b>Cenário 3</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Agropecuária (SPS)	1535.78	99.61	Simulação de toda bacia com Agropecuária (SPS), exceto uso antrópico urbano
Antrópico Urbano	6.12	0.39	
<b>Total</b>	<b>1541.9</b>	<b>100</b>	

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Para o fator P (práticas conservacionistas), adotou-se valor máximo (0,5 – 1) para áreas de uso antrópico e valor médio (0,5) para as demais áreas da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, seguindo valores propostos por Bertoni e Lombardi Neto (1999), conforme Tabela 11, e atribui-se valores a cada prática conservacionista.

Tabela 11 - Índices do Fator P quanto às práticas conservacionistas.

<b>Práticas conservacionistas</b>	<b>Valor de P</b>
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno/terraço	0,5
Áreas edificadas	1,0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1999.

As perdas potenciais de solo foram divididas em 8 classes de perda, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Classes de Perda Potencial de Solo Para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Classes de Perda Potencial de Solo</b>	<b>(ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>1</b>	0 - 1
<b>2</b>	1 - 10
<b>3</b>	10 - 50
<b>4</b>	50 - 100
<b>5</b>	100 - 500
<b>6</b>	500 - 1000
<b>7</b>	1000 - 5000
<b>8</b>	> 5000

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

As classes de perda potencial de solo foram assim divididas, seguindo a metodologia testada por Weiler (2017),

### **3.4 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS**

As condições climáticas locais são avaliadas em função de dados da precipitação, temperatura, umidade e vento e as condições hídricas do solo são dadas pela sua capacidade de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD). A partir da aplicação do balanço hídrico, torna-se possível determinar a disponibilidade hídrica, oferecendo um indicativo do excedente ou do grau de estresse que a comunidade vegetal está submetida, fator determinante na produtividade de uma cultura.

As condições de cada região em produzir, seja produção agrícola ou florestal, está voltada a necessidade hídrica de cada cultura. Para regiões essencialmente agrícolas, como é o caso da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, em períodos críticos, onde há estresse hídrico, tem-se frequentemente optado por trabalhar com irrigação.

Neste estudo, o objetivo de calcular o Balanço Hídrico Climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, é de planejamento de atividades agrícolas e florestais em função da disponibilidade de água para a região, levando em consideração os dados de precipitação de uma série histórica de 30 anos (1985-2015), a evapotranspiração potencial e a capacidade de água disponível. Como o objetivo é de estudos para planejamento em escala da bacia hidrográfica, não se considerou medidas diretas no campo. Em casos onde o estudo tem por objetivo a realização de projetos, tais como um plantio florestal ou agrícola, a realização de coleta de dados e aferição dos mesmos se faz necessário, visto da importância de saber a disponibilidade de água especificamente para a cultura que será implantada.

O balanço hídrico contabiliza a precipitação diante da evapotranspiração potencial, levando em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), sendo esta considerada a máxima quantidade de água, utilizável pelas plantas, que pode ser armazenada na sua zona radicular.

O balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite e Matter (1955), é uma das diversas maneiras de monitorar a variação do armazenamento de água no solo, fornecendo estimativas da evapotranspiração real, da deficiência hídrica para a planta, do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo, sendo assim um indicador climatológico da disponibilidade hídrica de uma região.

Nesta pesquisa aplicou-se o algoritmo do balanço hídrico climatológico especializado, desenvolvido por Carvalho Neto (2016), na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, buscando auxiliar no planejamento das ações de uso e cobertura do solo com base nas informações obtidas por meio deste trabalho.

O balanço hídrico climatológico da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, teve como base de cálculo a capacidade de água disponível na bacia, a evapotranspiração potencial e a precipitação, sendo considerados os dados de uma série de 30 anos (1985 – 2015), com base em Carvalho Neto (2016).

$$\text{BHC} = \text{CAD} * \text{ETP} * \text{P}$$

Onde:

BHC = Balanço Hídrico Climatológico

CAD = Capacidade de Água Disponível

ETP = Evapotranspiração

P = Precipitação

### 3.4.1 Elaboração dos mapas de capacidade de água disponível

Os mapas foram elaborados em função do uso, cobertura e tipo de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, trabalhando-se com médias e considerando zero para uso antrópico urbano. Os valores utilizados para a variável capacidade de água disponível (CAD) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, levaram em consideração a literatura utilizada para o trabalho, observando-se o tipo de solo, uso e cobertura do mesmo, conforme trabalhos desenvolvidos por Pereira et al. (2002) e Carvalho Neto (2011).

Tabela 13 - Capacidade de Água Disponível (mm) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Uso do Solo	Tipo de solo			
	Latossolo	Argissolo	Neossolo	Chernossolo
Campestre	250	200	65	300
Floresta/ Reflorestamento	400	350	112	450
Agropecuária	150	112	38	200
Antrópico Urbano	0	0	0	0

Fonte – Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018 (Baseado em Carvalho Neto, 2011).

A partir dos dados da Tabela 13, gerou-se o *shape* de capacidade de água disponível em função do uso, cobertura e tipo de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, resultando no mapa de capacidade de água disponível.

### 3.4.2 Elaboração dos mapas de Evapotranspiração

A estimativa da Evapotranspiração Potencial foi realizada utilizando-se o modelo de Thornthwaite 1948, ( $ET_pTH$ ), a partir dos dados de temperatura média para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, obtidos da Estação Cruz Alta 83912 (INMET), localizada nas coordenadas 28,63°S, 53,6°W e altitude 472,5 metros, com início de operação em 02/02/1912, sendo descrita como:

$$ETpTHp = 16 \left( 10 \frac{Tm}{I} \right)^a$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239$$

Em que:

$Tm > 0^\circ\text{C}$ ;

$ETpTHp$  = evapotranspiração potencial padrão (mm.mês<sup>-1</sup>);

$Tm$  = temperatura média mensal (°C);

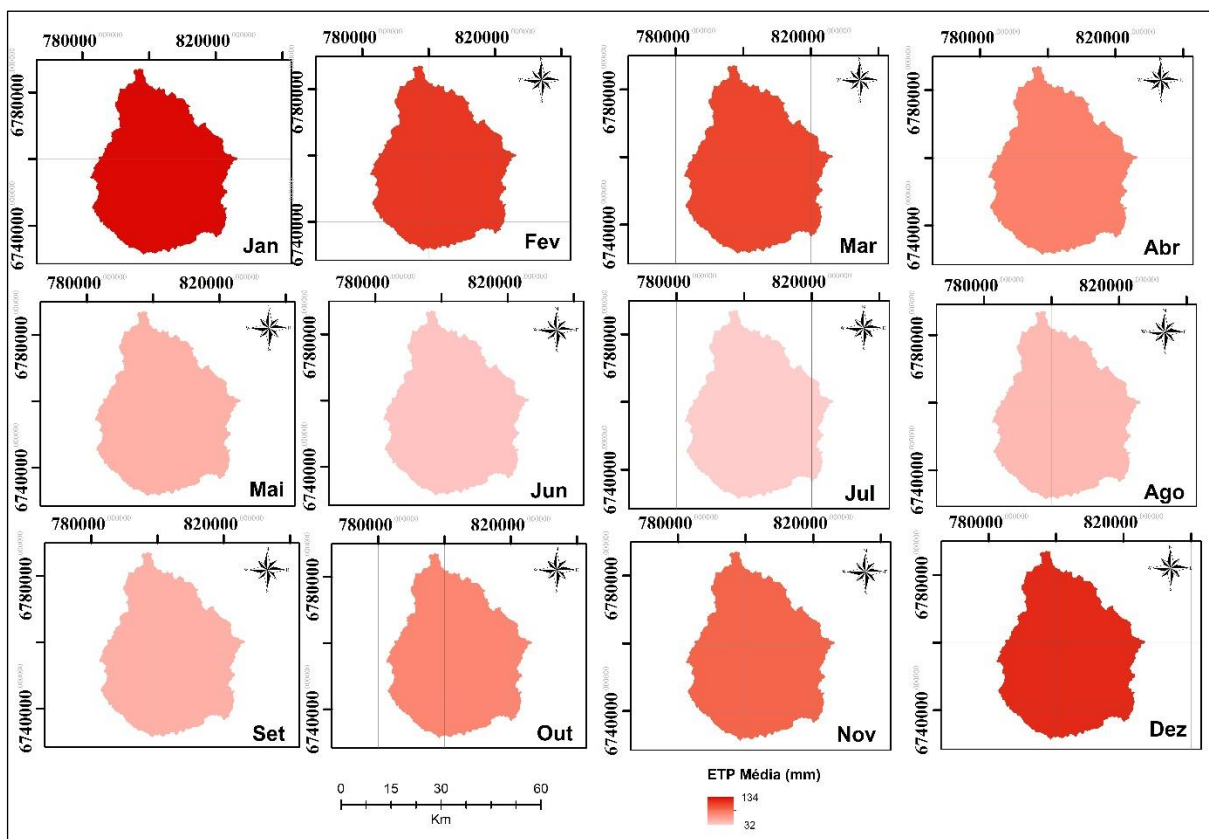
$I$  = índice de calor da região.

O índice de calor da região foi calculado com base nos valores Normais (média climatológica) mediante a equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2Tm)^{1,514}$$

A partir do cálculo da evapotranspiração média mensal para o período de 30 anos (1985 – 2015) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, gerou-se 12 *shapes* de ETP (Jan; Fev; Mar; Abr; Mai; Jun; Jul; Ago; Set; Out; Nov e Dez). Posteriormente resultou-se nos mapas de evapotranspiração potencial média mensal. Foi utilizado um dado de temperatura média para cada mês do período analisado (1985 – 2015) e assim obteve-se os mapas de evapotranspiração (FIGURA 11).

Figura 11 - Evapotranspiração média mensal da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

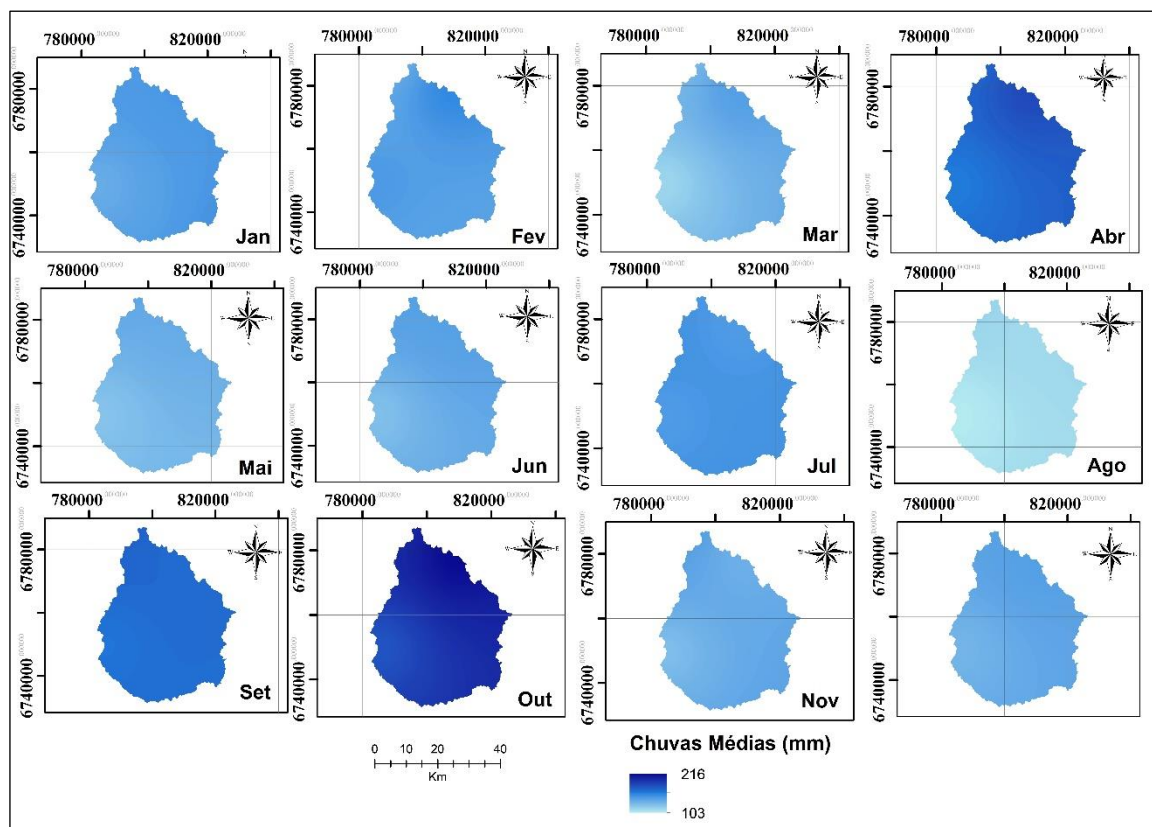
### 3.4.3 Elaboração dos mapas de chuva

Os mapas de chuva foram elaborados conforme os dados de chuva média para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, descritos no Item 3.2.1. Os dados das estações pluviométricas foram interpolados espacialmente e obtidos os mapas *rasters* das chuvas médias, mínimas e máximas, processados no ArcGIS, Versão 10.5. Observa-se que existe variação nas chuvas entre os meses do ano, assim como entre as estações.

Verifica-se, observando-se a precipitação média mensal, que o mês de agosto foi o que teve menor disponibilidade de água e outubro destacou-se por apresentar o maior volume médio de chuva (FIGURA 12).

Figura 12 - Mapa das chuvas médias (1985 – 2015) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.





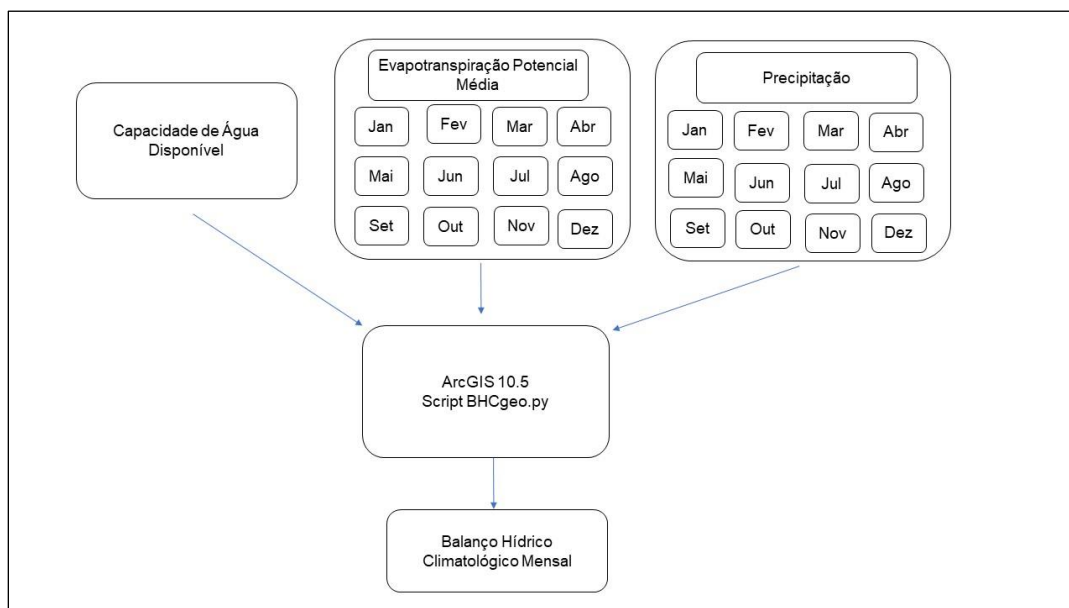
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

#### 3.4.4 Balanço Hídrico Climatológico

O Balanço Hídrico Climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, levou em consideração a evapotranspiração média (Figura 12) com base na temperatura média, a capacidade de água disponível (Figura 26) e as chuvas mínimas, médias e máximas (FIGURAS 8, 9 e 10), resultando assim em três balanços hídricos climatológicos: BHC máximo (anos com chuvas máximas), BHC médio (anos com chuvas médias) e BHC mínimo (anos com chuvas mínimas).

O Software utilizado para rodar os dados foi o ArcGIS 10.5, onde utilizou-se o Script BHCgeo.py (CARVALHO NETO, 2016) para gerar os mapas de balanço hídrico climatológico, onde o balanço é gerado cruzando os dados de chuva, evapotranspiração e capacidade de água disponível para cada pixel da área, conforme Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma para elaboração do Balanço Hídrico Climatológico.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

As equações utilizadas por Carvalho Neto (2016) na espacialização dos dados utilizadas para determinar o balanço hídrico climatológico em Vêneto, na Itália, apontaram que, o método princípio interpolação/cálculo se destaca quando comparado com cálculo/interpolação, justificando-se por permitir usar a capacidade de água disponível para toda a área, enquanto que o princípio cálculo/interpolação só utiliza a CAD do local da estação de coleta do dado.

### 3.5 Análise conjunta dos critérios

O planejamento ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, baseia-se na análise conjunta dos critérios estabelecidos neste trabalho. A metodologia empregada para esta análise está descrita detalhadamente no Capítulo 5.

## 4 Resultados e Discussão

Neste capítulo serão descritos os resultados de perda potencial de solo por erosão e balanço hídrico climatológico, cuja metodologia está descrita no capítulo 3. Os resultados da análise conjunta destes critérios de avaliação estão descritos no Capítulo 5.

#### 4.1 PERDAS DE SOLO POR EROSÃO NA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS

No cenário atual do uso do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados predomina o uso agropecuária, sendo que 65,02 % da área exerce atividade agrícola (Soja – Pastagem – Soja), conforme Figura 7 (Capítulo 3). Os cenários de perda potencial do solo foram designados em função dos usos atuais da bacia: campestre, agropecuária e floresta/reflorestamento, sendo que neste foram consideradas as áreas de silvicultura.

##### 4.1.1 Perda potencial de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados

As perdas potenciais de solo foram determinadas por meio da Equação Universal de Perda de Solo, sendo que para a Bacia Cachoeira Cinco Veados assumiu-se que os valores de K, P, LS e R (erodibilidade, práticas conservacionistas, fator topográfico e erosividade mantiveram-se constantes, conforme metodologia descrita e testada por Weiler (2017), alterando apenas o Fator C, de uso e cobertura do solo, de acordo com os usos atuais da bacia.

##### 4.1.2 Fator R – Erosividade da chuva

A erosividade da chuva (R) foi determinada considerando-se os dados de precipitação da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. Os valores obtidos para a erosividade da chuva seguiram metodologia de Rufino (1993), de acordo com Weiler (2017) e estão apresentados na Tabela 14, dados estes utilizados para geração do *rasteres* com valores de erosividade para cada ponto da bacia, para chuvas máximas, médias e mínimas. Para posterior planejamento foram utilizados somente as perdas potenciais para chuvas máximas, considerados eventos extremos de criticidade e que requerem mais atenção, sendo que em caso de planejamento serão estas as situações analisadas.

Tabela 14 - Erosividade da chuva ((Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).

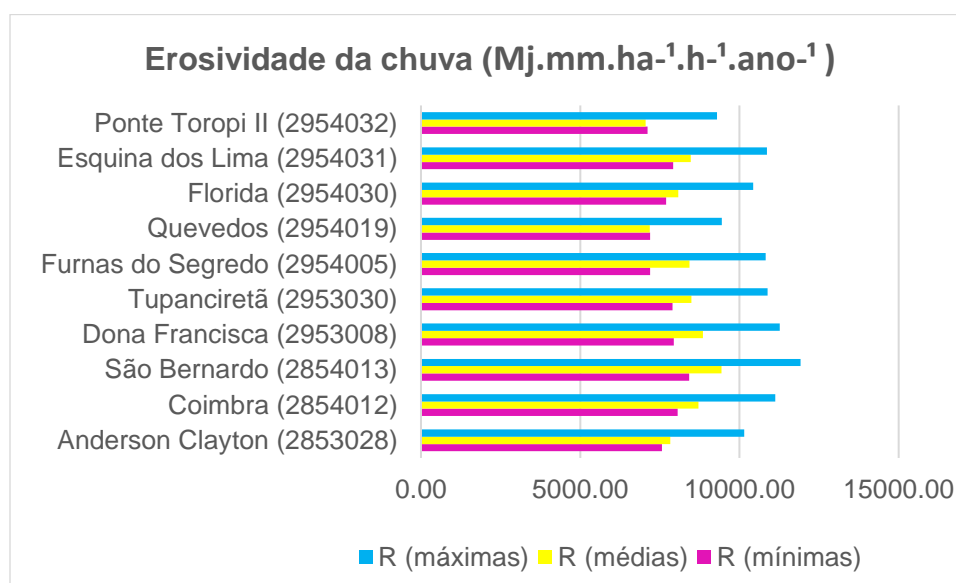
<b>Estações</b>	<b>R (mínimas)</b>	<b>R (médias)</b>	<b>R (máximas)</b>
<b>Anderson Clayton (2853028)</b>	7563,03	7830,30	10146,81
<b>Coimbra (2854012)</b>	8058,34	8713,64	11126,55
<b>São Bernardo (2854013)</b>	8425,08	9436,32	11913,90
<b>Dona Francisca (2953008)</b>	7942,59	8850,39	11270,40

<b>Tupanciretã (2953030)</b>	7898,89	8487,93	10880,19
<b>Furnas do Segredo (2954005)</b>	7197,85	8432,35	10824,79
<b>Quevedos (2954019)</b>	7197,85	7187,79	9451,15
<b>Florida (2954030)</b>	7696,91	8076,84	10433,79
<b>Esquina dos Lima (2954031)</b>	7915,80	8471,72	10863,69
<b>Ponte Toropi II (2954032)</b>	7113,01	7055,42	9291,28

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Figura 14 observa-se o comportamento da erosividade da chuva nas diferentes estações pluviométricas, para eventos de chuvas máximas, médias e mínimas.

Figura 14 - Erosividade da chuva na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



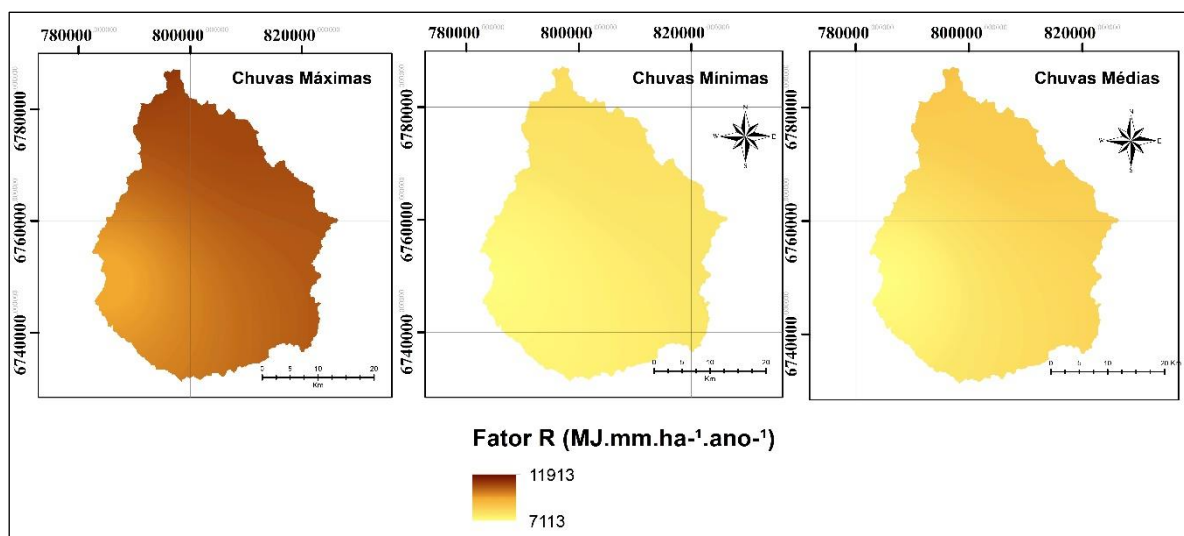
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

O fator R, que representa a erosividade da chuva para a Bacia, foi determinado em função dos dados de chuva para cada estação, sendo que a estação São Bernardo (2854013), localizada no Município de Tupanciretã, apresentou os maiores valores. Os valores da erosividade da chuva foram utilizados para especializar os dados das estações, visto que somente duas delas encontram-se dentro da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. Apesar das demais estações não estarem dentro da bacia, as mesmas são representativas para o local por estarem distribuídas próximas e em locais com características semelhantes.

A partir dos valores de erosividade e com a localização geográfica das estações pluviométricas, gerou-se o mapa *raster* com valores de erosividade para cada ponto

da bacia hidrográfica, por meio de método de interpolação (IDW), como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Mapa do Fator Erosividade (R) do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



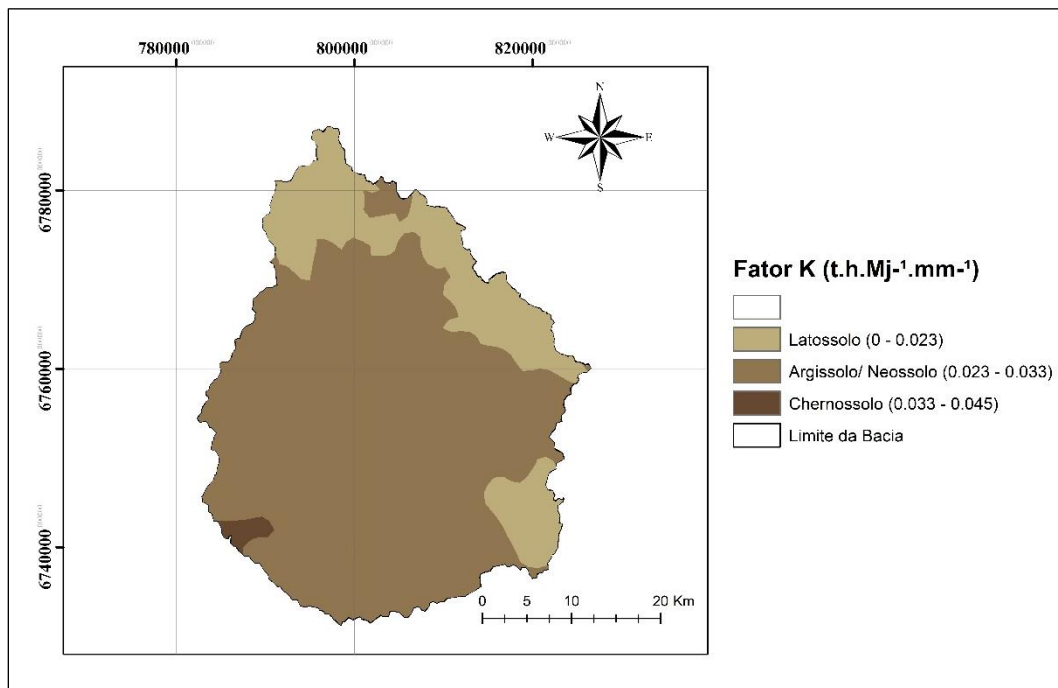
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Foram obtidos valores de erosividade média anual para a série de 30 anos (1985 – 2015) de 10.844,24 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para chuvas máximas, 7.797,90 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para chuvas médias e 9.386,73 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para chuvas mínimas, consideradas normais para essa região do Rio Grande do Sul, onde o índice de pluviosidade é de 1750 mm/ano. Estudo realizado por Bazzano et al. (2010), em Rio Grande, RS, o valor do valor médio de erosividade obtido foi de 5.135 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para um período de 24 anos (1957 – 1981). Já para a localidade de Hulha Negra, RS, o valor médio da erosividade da chuva foi de 6209 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para um período avaliado de 28 anos (1956 – 1984) (MARTINS et al., 2009), corroborando com resultado encontrado por Oliveira (2004), com média de 8.452 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para a Bacia do Rio Araguaia, entre os estados de Goiás e Mato Grosso.

#### 4.1.3 Fator K – Erodibilidade do solo

O mapa do fator K (FIGURA 16), que representa a erodibilidade do solo, obtido a partir da reclassificação do mapa de solos, apresentou valor médio de 0.028 t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>. Observa-se que os maiores valores de erodibilidade apresentam-se em solos do tipo Chernossolo, caracterizado na Tabela 3.

Figura 16 - Mapa do Fator Erodibilidade (K) do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

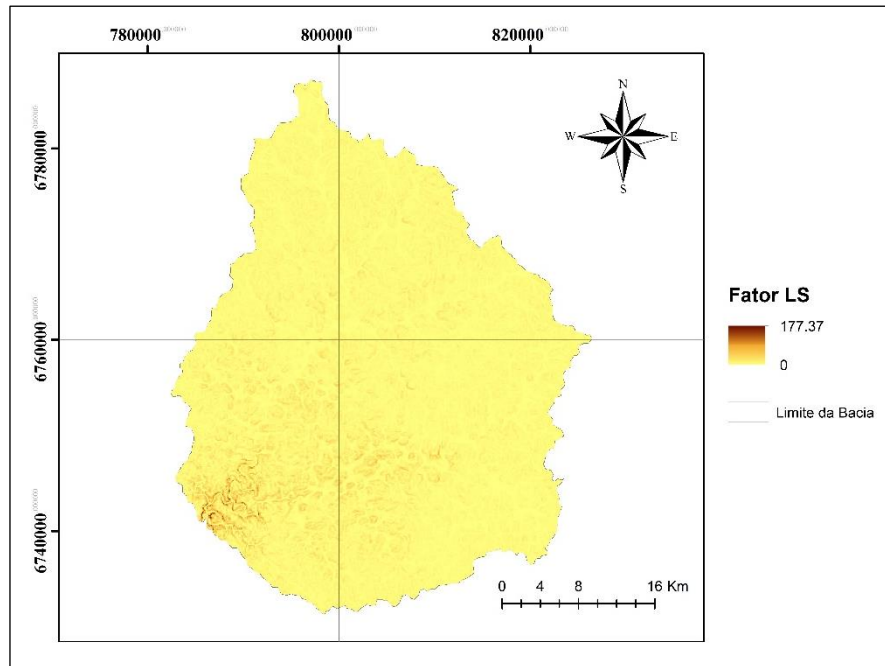


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

#### 4.1.4 Fator LS – Fator Topográfico

O mapa de declividade foi construído com base no Modelo Digital do Terreno. Os maiores valores de declividade, acima de 30°, ocorrem próximos ao exutório da bacia, variando de relevo ondulado a forte montanhosos, ocupando área de 279,15 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 18,1 % da área da bacia. Contudo, a classe de relevo plano a suave ondulado ocupa 81,9 % da área total, prevalecendo desta forma na bacia declividades entre 0 a 8%.

Figura 17 - Mapa do Fator Topográfico (LS) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



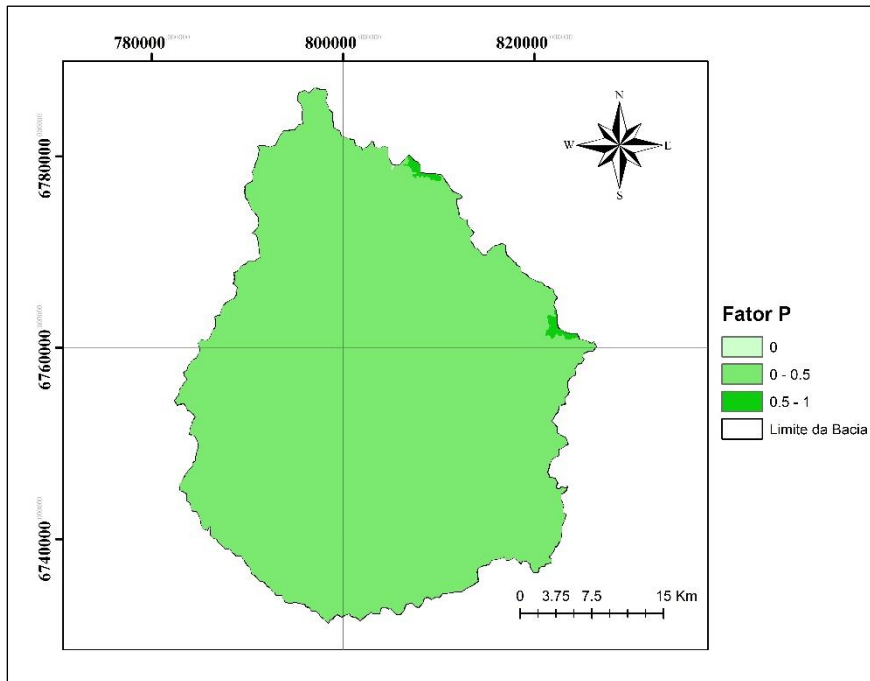
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Os valores de LS acima de 35 concentram-se próximos ao exutório, onde há áreas com paredões de rochas e declividades mais acentuadas. Os resultados do fator LS para a bacia assemelham-se aos encontrados por Didoné (2013) em áreas de maior declive e relevo montanhoso.

#### 4.1.5 Fator P – Práticas Conservacionistas

O mapa do Fator P foi elaborado tendo como base os valores já descritos por Bertoni e Lombardi Neto (1999) e descritos na Tabela 11. Na Figura 18 observa-se que toda a área da bacia assumiu valor entre 0 – 0,5, exceto para o uso antrópico urbano que assumiu valor entre 0,5 – 1.

Figura 18 - Práticas conservacionistas (P) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados – RS (1985 – 2015).



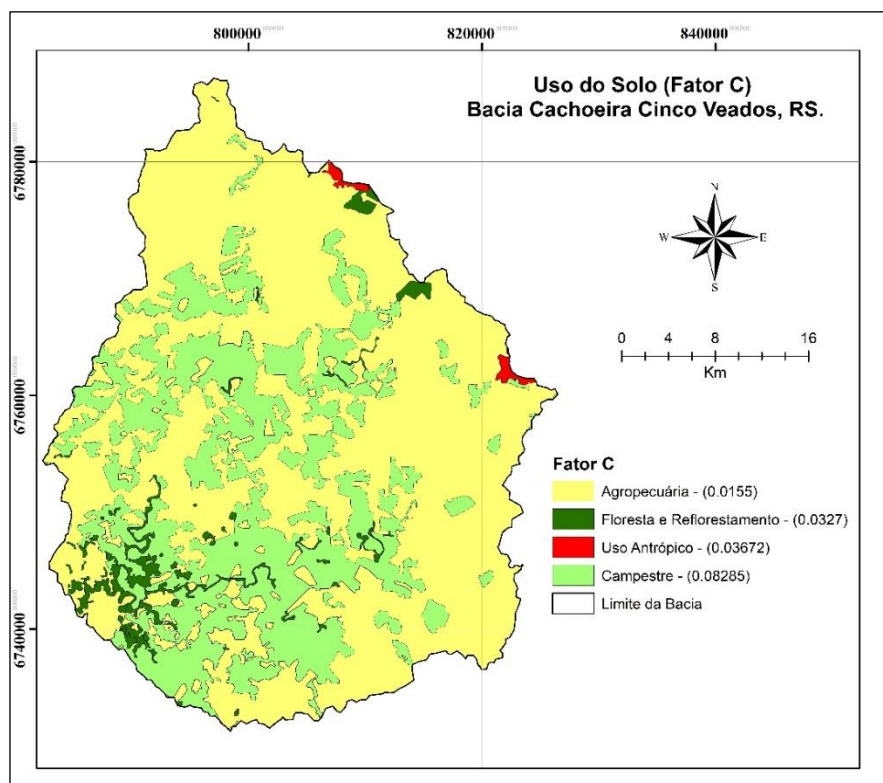
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

#### 4.1.6 Fator C – Uso e Manejo do Solo

O Fator C, representado pelo uso e manejo do solo, apresenta valores variando de 0,0155 até 0,08285 (Figura 19), sendo que quanto mais próximo estiver de um, o valor representa uso mais protetivo do solo em relação ao manejo. O mapa de uso e manejo do solo foi elaborado por meio da reclassificação de mapas, tendo como base o mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



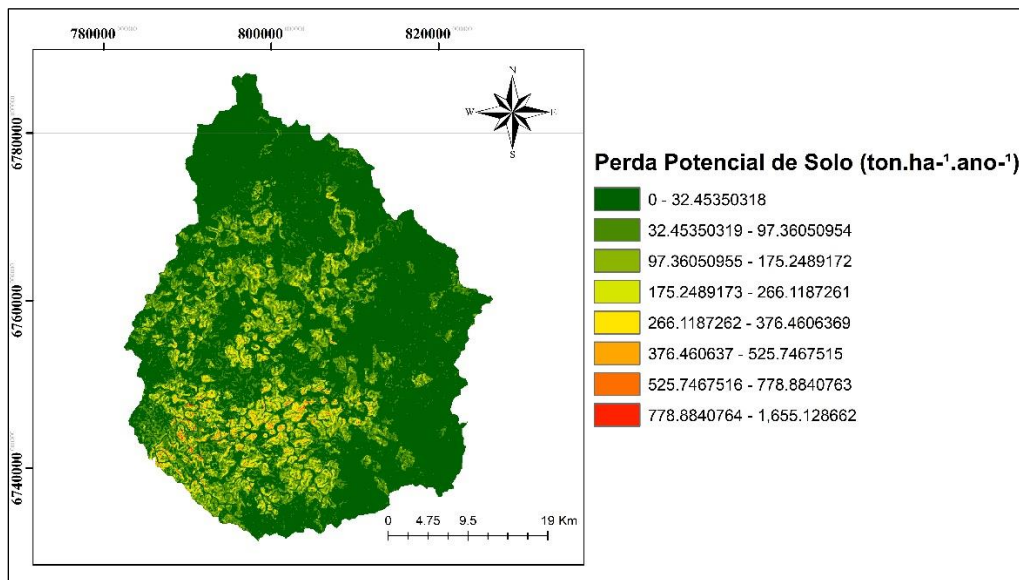
Figura 19 - Uso do solo (Fator C) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Inicialmente, a perda potencial de solo foi calculada com o uso atual do solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, para anos chuvosos (chuvas máximas), anos normais (chuvas médias) e anos secos (chuvas mínimas), para o período de 30 anos (1985 – 2015). A perda potencial de solo calculada pelas chuvas máximas, atingiu valor de  $1.655,13 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  (FIGURA 20).

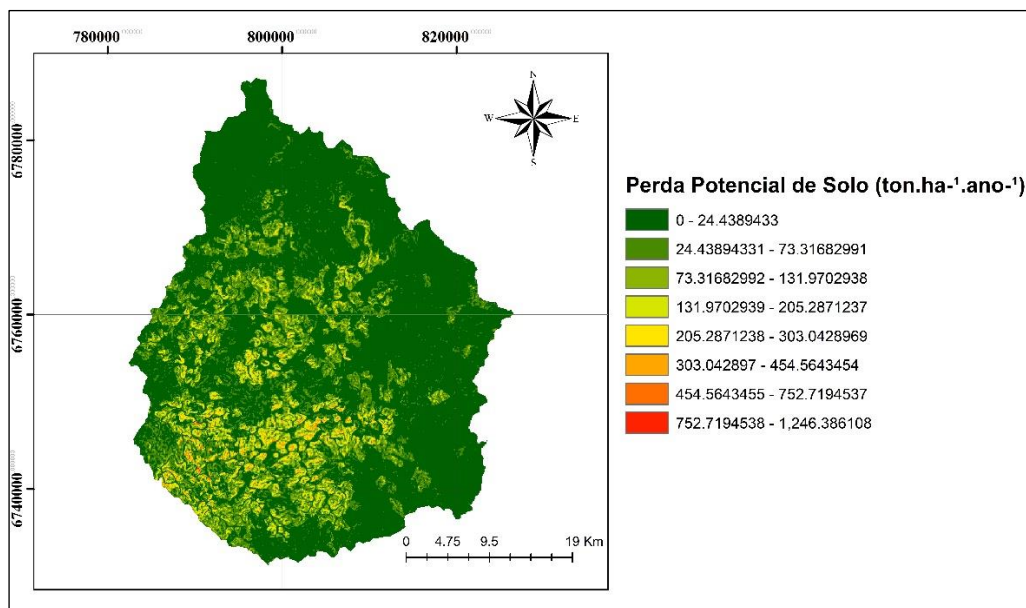
Figura 20 - Perda Potencial de Solo para chuvas máximas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Para perda potencial de solo para chuvas médias o valor foi de 1.264,78 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (FIGURA 21).

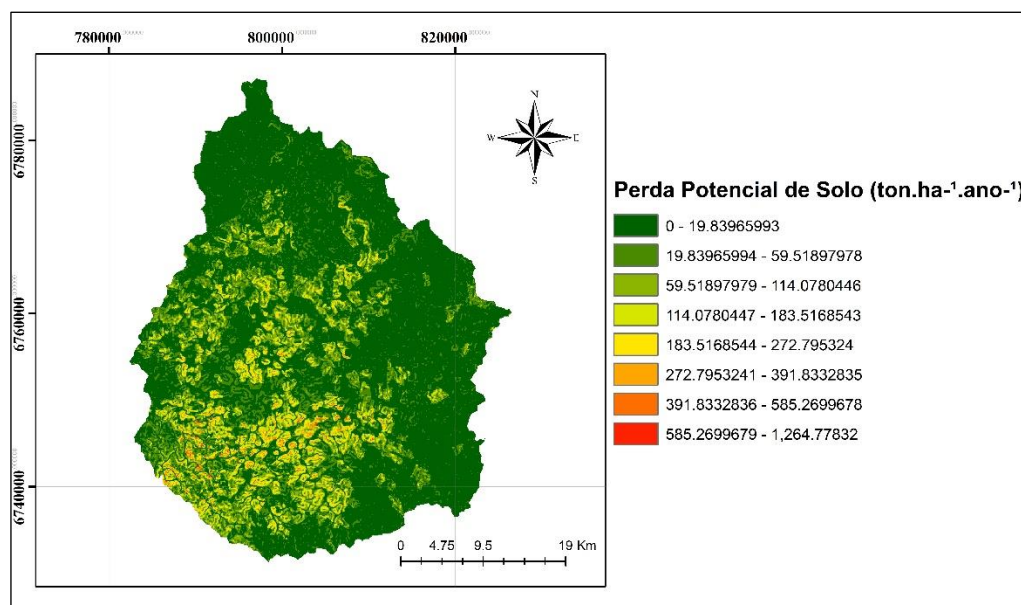
Figura 21 - Perda Potencial de Solo para chuvas médias na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Já para chuvas mínimas, a perda potencial de solo foi de 1.246,39 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (FIGURA 22).

Figura 22 - Perda Potencial de Solo para chuvas mínimas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Observa-se que, mesmo em períodos onde a precipitação está abaixo dos níveis normais, considerados anos secos, a perda de solo por erosão tem destaque nas áreas próximas ao exutório da Bacia. A ocorrência de áreas de criticidade no que se refere às perdas de solo por erosão no entorno do exutório explica-se pelo fato de ser área com maior disponibilidade de água e maior declividade, sendo áreas com restrição de uso, protegidas com maior fiscalização, exigindo assim maiores cuidados quando se trata de planejamento da bacia e ações de gestão mais intensas. Outro fator preponderante é o tipo de solo no entorno do exutório (Chernossolo), que é mais suscetível a erosão. Em estudo desenvolvido por Costa (2000), no estado da Bahia, a autora afirma que em área de pastagem do tipo Chernossolo, a degradação é mais intensa quando comparada ao solo do tipo Gleissolo, especialmente quando o manejo não é adequado, ocasionando perdas.

Para Wagner et al. (2007), solos do tipo Chernossolo são considerados de alta fertilidade natural, sendo denominados pelos agricultores como “terra preta” e caracterizados por sua grande capacidade de retenção de água, em função do elevado teor de matéria orgânica. Essa característica torna quase impossível seu

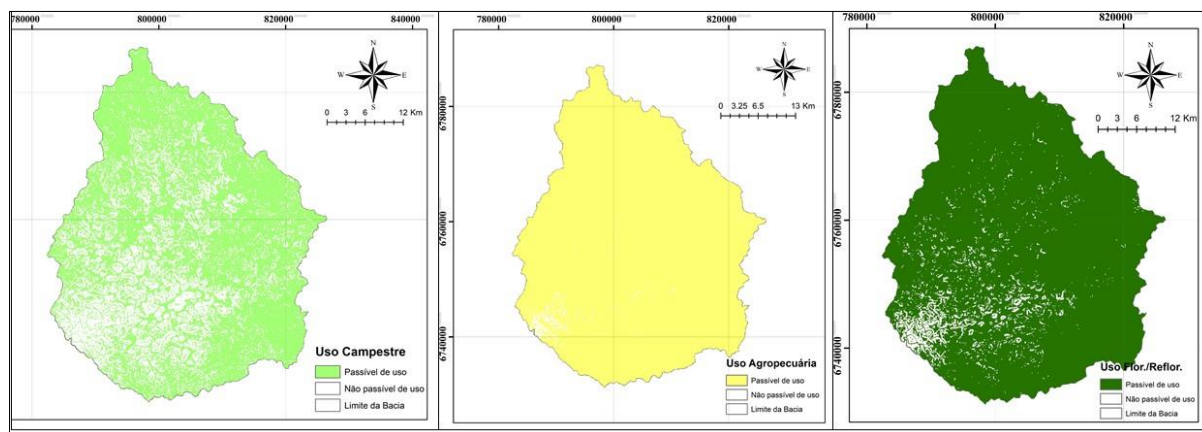
manejo durante os meses chuvosos de inverno, evidenciando o potencial erosivo do mesmo. Estudo realizado por Cunha (2016), avaliando a suscetibilidade a erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã – RS, diz que tal característica desse tipo de solo se deve aos mesmos variarem de pouco profundos a profundos, apresentando suscetibilidade aos processos erosivos pela presença de horizonte subsuperficial B textural ou de horizonte com caráter argilúvico.

#### 4.1.7 Planejamento de uso do solo

Com o intuito de identificar as potencialidades de uso dos solos da bacia aplicou-se a estratégia utilizada por Weiler (2017), construindo-se cenários com uso mais impactante e excluindo áreas que não devem ser utilizadas para esse uso. Depois para o segundo mais impactante, e depois sucessivamente.

Para esse planejamento, considerando o estudo de caso da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, reclassificou-se a área, de forma que toda a bacia assumiu somente um uso cada vez, exceto o uso antrópico urbano. Para a nova classificação, se estabeleceu um limite de perda de solo admitida de  $100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , seguindo metodologia proposta por Weiler (2017), onde o comportamento da bacia mostra-se semelhante para as equações testadas e a partir deste valor o comportamento erosivo da bacia muda para cada equação, sendo que as maiores diferenças são observadas nas classes de 500 a  $5.000 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . A partir dessa premissa, geraram-se os mapas com os 3 (três) cenários, onde áreas passíveis de uso encontram-se dentro do limite de perda potencial de solo de  $100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e áreas não passíveis de uso são as áreas onde esse limite é excedido, passando a ser área de planejamento (FIGURA 23).

Figura 23 - Cenários de Uso do Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

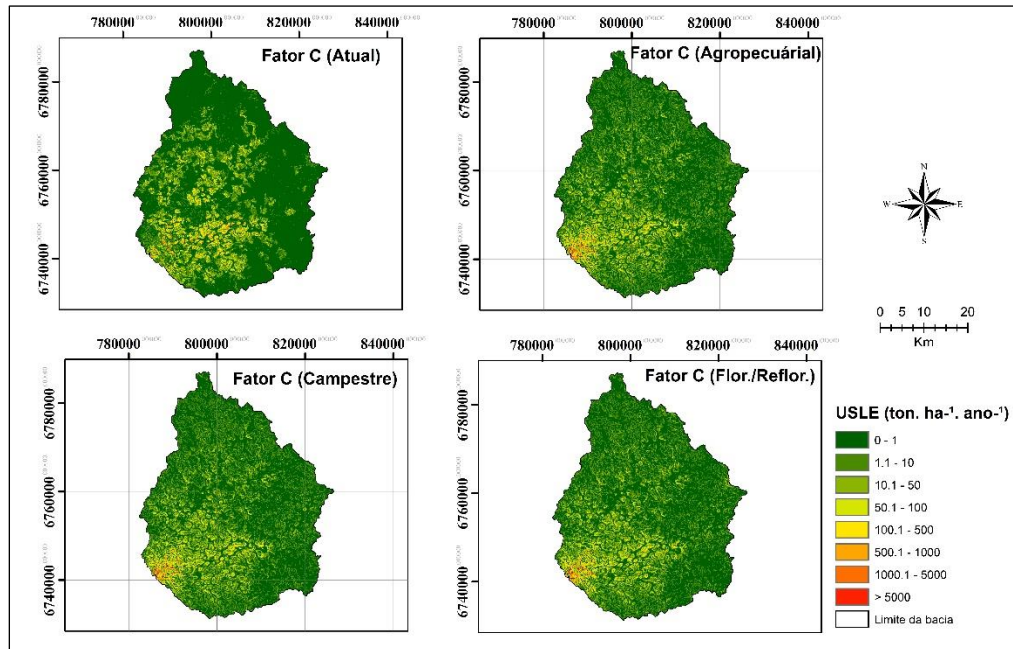


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Os cenários trabalhados na estimativa de perda potencial de solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados estão baseados nos usos de solo atuais da bacia. Para o Cenário 1 (Atual), toda a bacia assume que os usos são os mesmos, ou seja, agropecuária (65,02%), campestre (31,56%), floresta/ reflorestamento (3,02%) e uso antrópico urbano (0,40%). Para o Cenário 2, assume-se que toda a bacia passa a ter o uso agropecuária, exceto o uso antrópico urbano. No Cenário 3 toda a bacia passa a ter uso campestre, exceto o uso antrópico urbano. O Cenário 4, com exceção do uso antrópico urbano, toda a bacia é coberta por floresta/reflorestamento, sendo que neste cenário são incluídas as áreas de silvicultura.

Para todos os cenários trabalhados, há necessidade de planejamento de uso do solo da área da bacia. Na Figura 24, observa-se que, mesmo sendo estabelecido um limite de perda potencial de solo de  $100 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , conforme descrito por Weiler (2017), ainda assim há perdas nas áreas próximas aos cursos d'água com perdas acima do limite estabelecido, principalmente no entorno do exutório da bacia.

Figura 24 - Perda Potencial de Solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

As perdas de solo para o uso do solo atual da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, mais significativas estão na classe de 100 a 500  $\text{t. ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , sendo que tais perdas ocorrem nas áreas com maiores declividades, representando 12,24 % da área total da Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Considerando as perdas de solo por erosão para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, os valores de criticidade destacam-se no período de maior ocorrência de chuvas, sendo a área do entorno do exutório com maiores perdas, onde o tipo de solo predominante é Chernossolo, cujas características apresentam maior susceptibilidade à erosão de moderada a forte, o que recomenda a manutenção de vegetação perene em declividades acima de 30% (PIROLI et al., 2002). Considerando-se a série histórica de 30 anos (1985 – 2015), o período de setembro a novembro foram os que tiveram maior volume de chuvas, representando maiores perdas de solo, onde as áreas de maiores usos da Bacia são culturas agrícolas, que recebem algum tipo de preparo de solo. As áreas mais distantes do exutório são as que representam menores

perdas de solo. Tal fato está aliado à declividade do local, que por ser íngreme não possui os mesmos usos das demais áreas.

#### 4.1.8 Conclusão

A utilização da USLE possibilitou estimar e identificar espacialmente os locais da bacia onde acontecem os maiores ou menores potenciais de perdas de solos, provisionando assim subsídios para um planejamento conservacionista de uso do mesmo.

Para os cenários de perda potencial de solo, o uso agropecuária foi o que obteve menores perdas, com média para a bacia de  $600,8 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , seguido do uso atual ( $1.246,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), uso floresta/reflorestamento ( $1.267,54 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e uso campestre ( $3.211,49 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

Cabe salientar que, em função dos limites de métodos para aplicação na equação da USLE, os resultados devem ser tomados como indicativo ambiental e necessitam de validações experimentais para confirmação. Porém, eles mostraram que o potencial de erosão é variável dentro da bacia hidrográfica, analisando os fatores envolvidos e que são imprescindíveis medidas preventivas e corretivas para um adequado planejamento da ocupação do solo e utilização de práticas conservacionistas, com ênfase para as áreas com maior potencial de perdas de solo.

## 4.2 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS

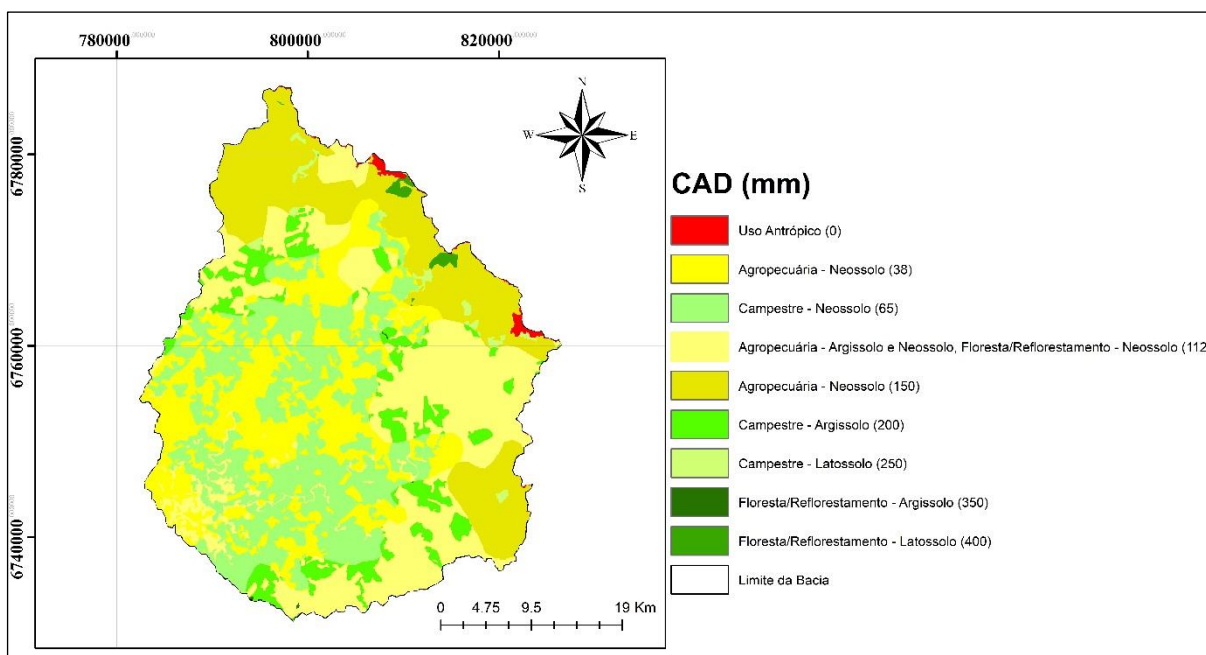
Com a espacialização dos dados de chuva, é possível observar gradientes de precipitação ao longo da bacia. Há um comportamento diferente dos meses com relação aos regimes de chuva durante o ano. As chuvas médias variaram entre 103 e 216 mm, sendo que agosto foi o mês com menor intensidade de chuva e outubro o mês com maior intensidade de chuva, com média de 110 mm e 197,5 mm, respectivamente. Apesar de agosto ser o mês com menor volume de chuva, os efeitos no balanço hídrico climatológico (déficit hídrico) não são tão visíveis em função de a temperatura média atingir  $14,9^{\circ}\text{C}$ , menores quando comparadas, por exemplo, com o mês de dezembro, que atinge temperatura média de  $23^{\circ}\text{C}$ , aumentando assim a evapotranspiração potencial. Caso o volume de chuva precipitado em agosto fosse aos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, em ambos os meses ocorreria déficit hídrico, onde a evapotranspiração potencial supera a precipitação.

A evapotranspiração potencial média anual para a série de 30 anos (1985 – 2015), baseada na temperatura média mensal, foi de 921,5 mm, variando de 32 a 134 mm, sendo que o mês de julho foi o mês com menor evapotranspiração potencial média (32 mm) e janeiro destacou-se com a maior evapotranspiração potencial média para o período (134 mm). Com as estações do ano bem definidas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, observa-se que nos meses de verão (dezembro a março) a evapotranspiração atinge os valores máximos, corroborando com Da Cunha e Martins (2009), que avaliando os municípios de Botucatu e São Manuel – SP, encontraram maior evapotranspiração no município de São Manuel, consequência da maior temperatura média anual para o município.

A relação da latitude na evapotranspiração estimada pelo modelo utilizado ficou evidente, uma vez que os meses de janeiro, fevereiro e dezembro, com valores médios de temperatura de 24,1, 23,8 e 23,4 °C, respectivamente, atingiram valores de 133,2, 115,5 e 121,7 mm de evapotranspiração potencial, refletindo a influência do ângulo de incidência dos raios solares sobre a região.

Na Figura 25, observa-se os valores de capacidade de água disponível (CAD) para os diferentes usos e cobertura do solo, considerando o uso atual, de acordo com o tipo de solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Figura 25 - Mapa de Capacidade de Água Disponível para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).





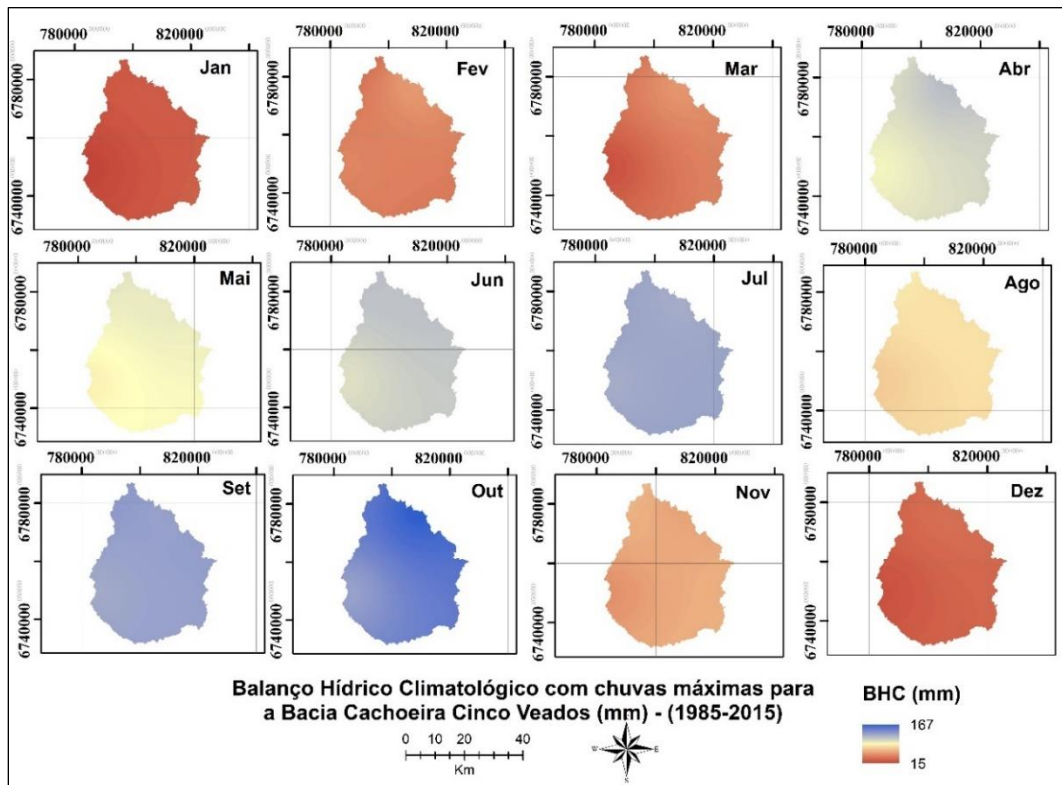
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Os valores mais altos para a capacidade de armazenamento de água no solo encontram-se em áreas de floresta e reflorestamento. O fato se explica por, em áreas florestadas, a taxa de transpiração ser menor, onde árvores de florestas tropicais chuvosas podem transpirar até 1800 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>; palmeiras de trópico semi-árido, de 1200 a 1800; leguminosas herbáceas, de 9000 a 11000; gramíneas de campos, de 5000 a 10000; halófitas, de 1200 a 2500; espécies de deserto, de 1000 a 5000; e cactáceas, de 600 a 1800 (PIMENTEL, 2004).

Para áreas de agropecuária (Soja/Pastagem/Soja), com raízes superficiais, a capacidade de água disponível é menor, devido à evaporação de água no solo ocorrer inicialmente próximo a superfície e pela grande quantidade de raízes nessa região. Já para culturas florestais, mesmo com pouca água disponível, conseguem buscar água nas camadas subsuperficiais do solo devido às raízes pivotantes, resistindo por maior período a determinada condição de estresse hídrico, quando comparado a culturas agrícolas. Outro fator que deve ser levado em consideração é o tipo de solo. Beutler et al.,(2002), em estudo com diferentes tipos de solo, apontam que mesmo que a capacidade de água disponível tenha sido a mesma para os dois solos estudados, a maior retenção sob todas as tensões ocorreu no Latossolo vermelho eutroférrico cujo textura é mais fina, que no Latossolo vermelho distrófico, demonstrando que o maior conteúdo de água neste solo não resultou em benefício para as plantas, devido ao fato de a água estar retida sob maior tensão, permanecendo indisponível para as plantas.

Mesmo analisando as chuvas máximas, considerado o período de menor criticidade em relação ao balanço hídrico, embora o balanço seja positivo, observa-se valores extremamente baixos (FIGURA 26), principalmente nos meses de janeiro e fevereiro (1985 – 2015), com temperatura média de 24,1°C, podendo as máximas atingir 31°C, evidenciando a necessidade de planejamento para áreas irrigadas e/ou inserção de cultivos que resistam ao período de menor disponibilidade de água, seja para estabelecimento/germinação ou mesmo na floração/enchimento de grãos, que são os períodos que demandam maior quantidade de água pela planta.

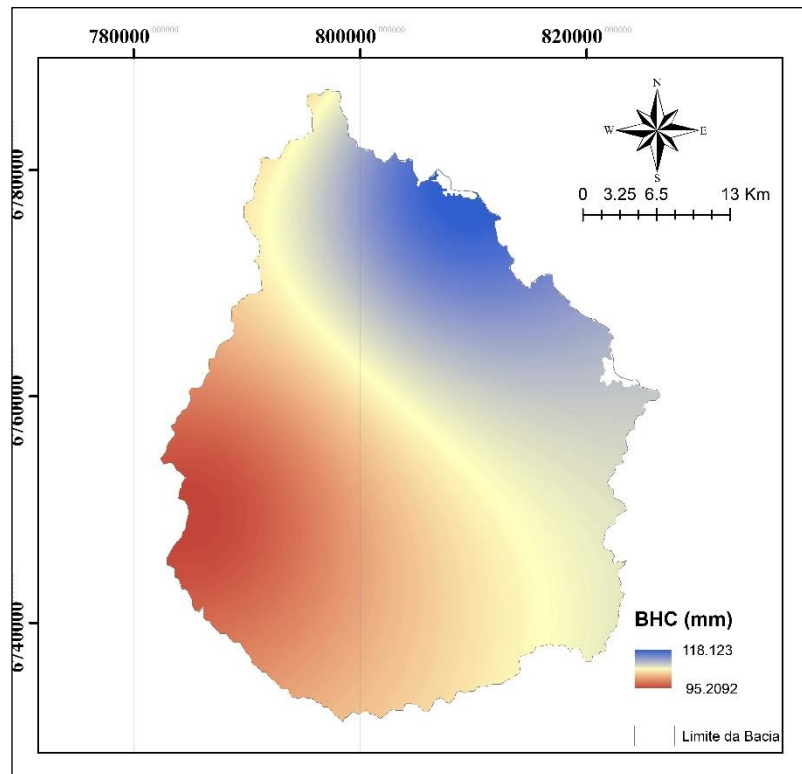
Figura 26 - Balanço Hídrico Climatológico para Chuvas Máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na área localizada à Noroeste da Bacia Cachoeira Cinco Veados, onde há maior média pluviométrica, o balanço hídrico apresenta valores maiores, chegando a ter uma diferença de 24 mm no mês de abril, considerando chuvas máximas (FIGURA 27).

Figura 27 - Balanço Hídrico Climatológico para o mês de abril com chuvas máximas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Somente para o mês de julho observa-se o contrário, onde a área ao Nordeste da bacia tem um menor volume de chuvas e, conseqüentemente, o balanço hídrico atingiu valores médios semelhantes a área do exutório, localizado na região Sudoeste da bacia.

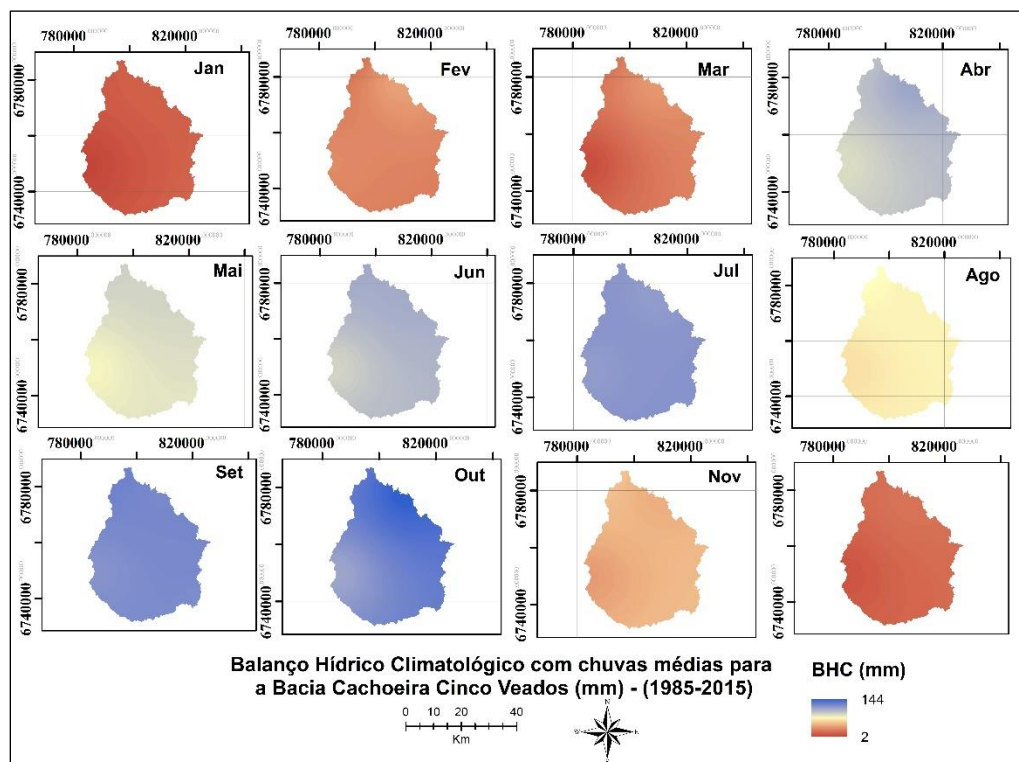
Para o Balanço Hídrico Climatológico considerando chuvas máximas, observa-se que em todos os meses do ano, para a série apresentada (1985 – 2015), há disponibilidade de água para a bacia, evidenciando assim os resultados descritos por Kuinchtner e Buriol (2016), que indicam que a região não apresenta déficit hídrico em grande parte do período. Porém, Matzenauer et al. (1995) afirmam que a disponibilidade hídrica é o fator que afeta o rendimento das culturas com maior frequência e intensidade no Rio Grande do Sul.

Segundo Moreno (1961) a precipitação normal do Rio Grande do Sul é bem distribuída ao longo do ano: 24% no verão, 25% no outono, 25% no inverno e 26% na primavera. Porém, nos meses de verão, devido à maior demanda evaporativa da

atmosfera, frequentemente as chuvas não são suficientes para suprir as necessidades das culturas, pois além da variabilidade anual da distribuição da precipitação e ao longo de um ano agrícola, nos meses de verão, essas apresentam maior variabilidade espacial e, frequentemente, têm alta intensidade (NIED et al., 2005).

O balanço hídrico climatológico médio para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (FIGURA 28) aponta resultados semelhantes ao encontrado por Carvalho Neto (2011). Mesmo analisando período diferente, o autor aponta que as áreas próximas ao exutório são mais suscetíveis a falta de água, devido a evapotranspiração ser maior e relacionado com as culturas inseridas que demandam de maior quantidade de água, retirando mais água do solo para o desenvolvimento. Nas áreas em que não há culturas inseridas, tais condições se devem ao relevo, com inclinações acima de 45°, facilitando as condições apresentadas. Observando-se o balanço hídrico climatológico médio para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, verifica-se que não há déficit hídrico, onde a precipitação para o período foi de 1.800 mm e a evapotranspiração foi em torno de 51% do total precipitado (921,5 mm).

Figura 28 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).

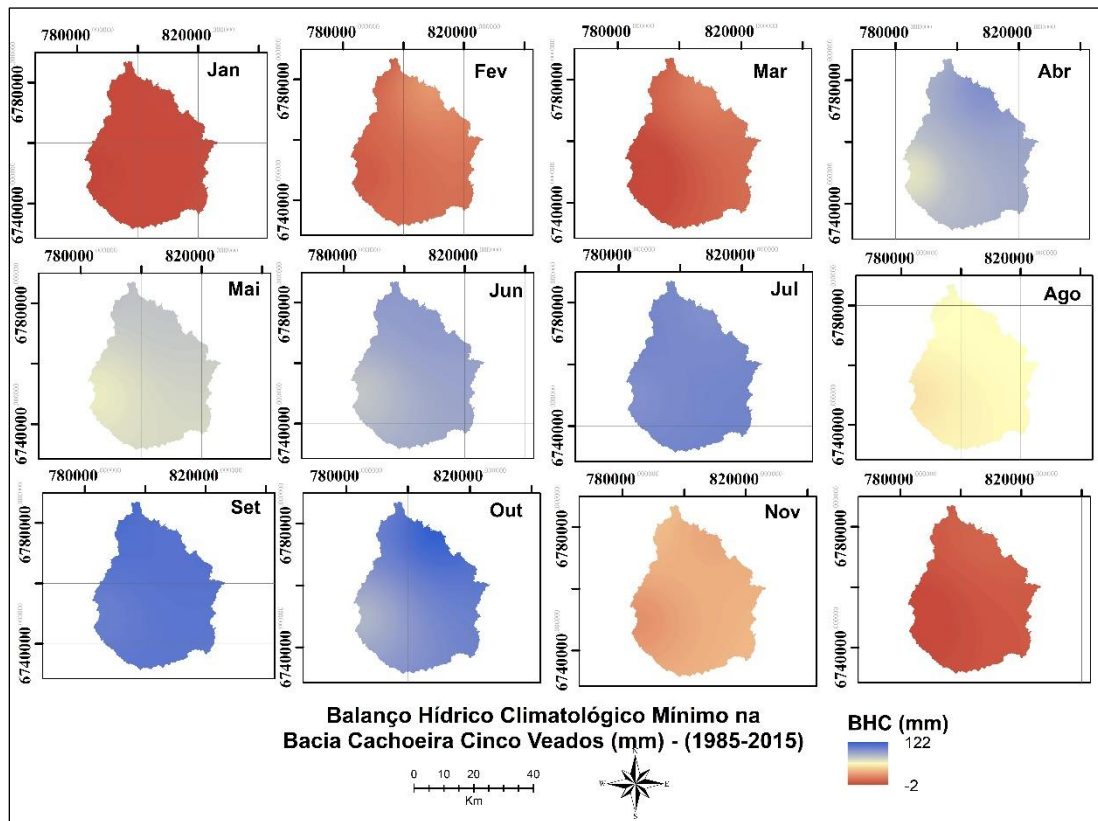


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Observa-se que nos meses de janeiro, março e dezembro o balanço hídrico climatológico para anos considerados secos assume valores negativos (FIGURA 29), ou seja, há déficit hídrico, principalmente no entorno do exutório, fazendo com que as altas temperaturas do período influenciem para uma maior evapotranspiração, aliado ao tipo de solo do local (Chernossolo). Verifica-se ainda que, mesmo em anos onde a precipitação atinge as mínimas mensais, ainda assim o déficit hídrico é inferior a outras regiões do Brasil, como foi observado por Monteiro et al. (2011), no município de Groaíras, estado do Ceará, onde a precipitação média anual é de aproximadamente 700 milímetros e há déficit hídrico em praticamente todos os meses do ano. A disponibilidade de água ocorre devido a bacia estar inserida numa região que não apresenta, historicamente, casos de falta da água, sendo que a precipitação média anual varia entre 1.700 e 1.900 milímetros.

Para atender a demanda hídrica agrícola na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, para anos considerados secos, onde o BHC atinge valores negativos nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, para se garantir altas produtividades e a qualidade da produção agrícola, há a necessidade de um planejamento integrado dos recursos hídricos e a implantação do uso de sistemas de irrigação, principalmente pela variação da disponibilidade de água no solo, determinado pela precipitação, transpiração efetiva, temperatura aliado ao manejo de solo adotado (CARVALHO et al., 2011).

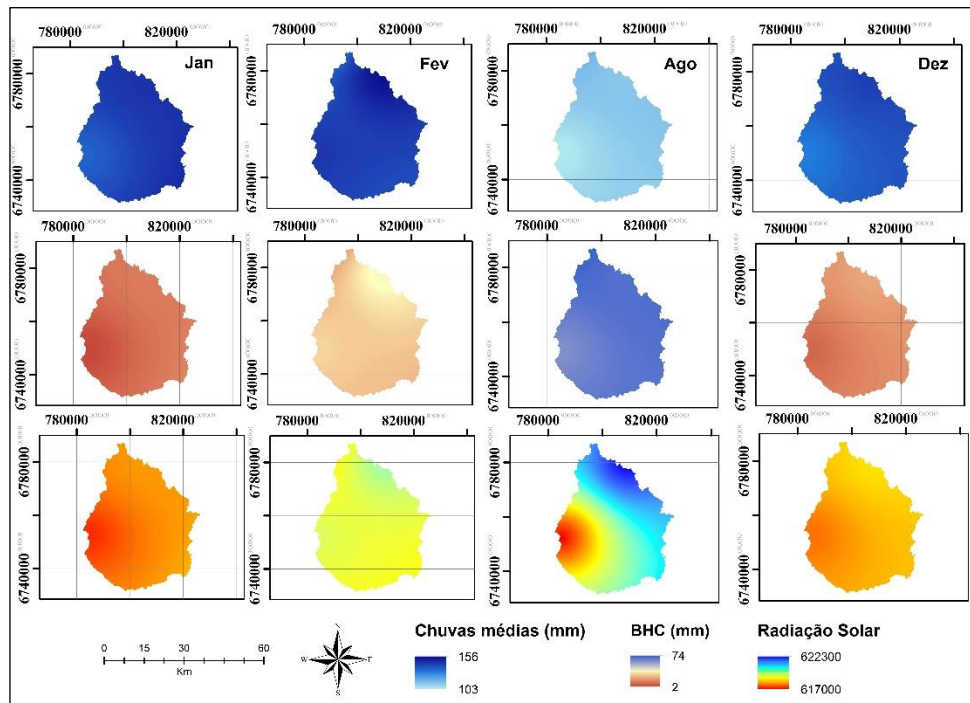
Figura 29 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Apesar do mês de agosto ter uma menor intensidade de precipitação, quando comparado aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, onde o balanço hídrico atinge valores mínimos negativos, ainda assim não apresentou os menores valores para o balanço hídrico. Tal fato se explica radiação solar que chega a superfície no mês em questão, relacionado com a temperatura média do ar, em função da região ter estações – quente e fria - bem definidas, conforme Figura 30, que relaciona o balanço hídrico climatológico com a precipitação e radiação que chega a superfície.

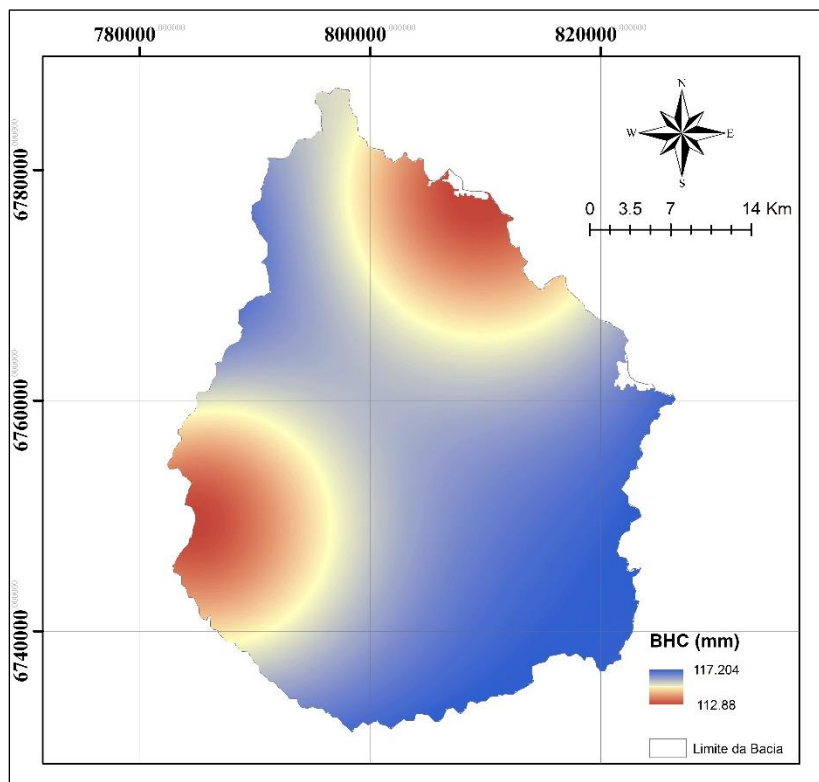
Figura 30 - Relação Precipitação X Radiação (Temperatura) no Balanço Hídrico Climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Para o mês de julho (FIGURA 31), observa-se que em dois pontos da bacia – Nordeste e Leste - o balanço hídrico climatológico assume valores mínimos, diferente dos demais meses. Uma hipótese que se assume é a implantação de diferentes cultivos no período, onde observa-se para a região a implantação de culturas mais exigentes em água, como o trigo, aliados ao período com menor disponibilidade hídrica para estes pontos, devido a precipitação ser menor do que nas demais áreas da bacia. Streck e Alberto (2006) justificam tal fato em função de, no Rio Grande do Sul, a maioria dos agroecossistemas serem não irrigados e pela diferença na eficiência do uso da água disponível no solo pelas plantas.

Figura 31 - Balanço Hídrico Climatológico com chuvas mínimas para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS (1985 – 2015).



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Um dos fatos preocupantes em relação ao balanço hídrico climatológico é o aumento da temperatura global ou mudança climática. Streck e Alberto (2006) realizaram estudos com as culturas agrícolas soja, milho e trigo, e simulando um aumento de temperatura de até 6°C em 100 anos para a Região de Santa Maria, RS, associado com o conteúdo de CO<sub>2</sub>, a tendência é diminuir o conteúdo de água do solo, déficit este ficando mais evidente para culturas de verão.

Mesmo em períodos chuvosos, ainda assim pode ocorrer déficit hídrico. Estudo realizado por Carvalho et al. (2011), onde o mesmo avaliou o balanço hídrico para a cultura do café no estado de Goiás, evidenciou-se que, mesmo com distribuição normal de chuvas, ainda assim houveram períodos de déficit hídrico. Tal fato está ligado à necessidade de cada cultura e suas necessidades fisiológicas em cada fase de desenvolvimento. Centurion e Ghini (2008) apontaram que a cultura de soja, por exemplo, exige uma maior quantidade de água durante o período de germinação e floração e enchimento de grãos, podendo a produção ser afetada quando houver



menos de 50% de água disponível para a planta, confrontando Fendrich (2017), que diz que apesar de a cultura da soja apresentar grande demanda hídrica para o seu desenvolvimento, também tem capacidade de adaptação a “déficit” de água, como ocorrido nos anos de 1994 (584 mm) e 2000 ( 544 mm), respectivamente, na Região Metropolitana de Curitiba, PR.

Modelos matemáticos são uma simplificação da realidade que nos permitem apresentar as complicadas interações que existem em agroecossistemas e, portanto, são uma ferramenta para estudos do impacto de mudanças climáticas em agroecossistemas.

Para anos normais (chuvas médias) e anos chuvosos (chuvas máximas) não há déficit hídrico na Bacia Cachoeira Cinco Veados. O contrário é observado em anos secos (chuvas mínimas), onde nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro existe déficit hídrico em alguns pontos da bacia.

O modelo utilizado para determinação do Balanço Hídrico Climatológico no estudo de caso da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, mostrou-se passível para verificação das áreas de déficit e excesso hídrico mensal para a série de 30 anos. Para um estudo mais aprofundado e pontual, como, por exemplo, para irrigação de uma lavoura, o balanço hídrico climatológico deve levar em consideração períodos mais curtos, pois uma série longa possui variação espacial, podendo ocasionar sub ou super estimativa para estes casos.

O modelo utilizado fornece subsídios para o planejamento ambiental, pois toda e qualquer área a ser planejada deve observar a disponibilidade de água para as culturas a serem implantadas, evidenciando que o uso e cobertura do solo está baseado no balanço hídrico local.

## **5 Artigo: PERDAS DE SOLO POR EROSÃO E BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO: ANÁLISE PARA TOMADA DE DECISÃO EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA**

### **5.1 INTRODUÇÃO**

As perdas de solo atingem valores maiores em períodos de maior precipitação, devido a água da chuva carregar maior quantidade de partículas de solo para outras áreas. Tais condições são acentuadas em locais de maior declividade e em solos sem cobertura ou com preparo intenso, evidenciando os benefícios do plantio direto ou do cultivo com preparo mínimo.

Nas últimas décadas o uso não sustentável dos recursos naturais vem contribuindo para a degradação ambiental dos diferentes ecossistemas. Estima-se que o mundo já perdeu, desde a metade do século passado, um quinto da superfície cultivável e aproximadamente 20% das florestas tropicais e que a cada ano desaparecem cerca de 25 bilhões de toneladas de húmus por efeito da erosão, desertificação, salinização e outros processos de degradação ambiental (DE FARIA CORRÊA, 2010).

Considerando o exposto, torna-se importante a modernização das áreas agrícolas e florestais, com objetivo de produzir mais em menor área bem como minimizar os impactos ao ambiente e em especial, ao solo e aos recursos hídricos.

A gestão de bacias hidrográficas ganhou força a partir dos anos 90. Desde então busca-se a integração de todos os fatores que interagem dentro de um território, de forma que o uso dos recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, se deem de forma sustentável, não agredindo ao meio ambiente. Essa gestão integrada é possível de ser visualizada em bacias hidrográficas, onde há interação de uso dos recursos hídricos com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural.

Vários podem ser os critérios passíveis de subsidiar estudos de planejamento ambiental. Considerando o foco no zoneamento de utilização do solo, com minimização dos impactos em termos de perdas de solo, e das perdas de produção, em função de falta de água, este estudo objetivou avaliar dois critérios e como os mesmos, a partir de sua espacialização, podem auxiliar na construção do planejamento e zoneamento do uso do solo.

Outra variável amplamente utilizada nas decisões em vários estudos de planejamento e zoneamentos, é a estimativa da perda potencial de solo, dependente do tipo de solo, da pluviosidade, do relevo e do uso do solo. Recentemente, Weiler (2017) em sua dissertação de mestrado, utilizou uma estratégia de espacialização da USLE.

Em função dos pontos já mencionados, para planejamento e gestão da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, o objetivo do trabalho foi o planejamento ambiental do uso do solo da bacia, considerando a perda potencial de solo por erosão para chuvas máximas e o balanço hídrico climatológico para chuvas mínimas, médias e máximas.

## 5.2 PLANEJAMENTO AMBIENTAL

### 5.2.1 Perda Potencial de Solo por Erosão

O critério de avaliação de uma área de zoneamento em função de perda potencial de solo por erosão determina se o uso atual ocasiona danos ao solo dentro de classes de perdas, que podem ser distribuídas em função da necessidade de planejamento de uso do solo de um determinado local. De Mello et al. (2006) definiu que a perda de solo é menor quando há utilização de práticas de manejo e uso atual mais adequados, com práticas conservacionistas.

Magalhães Filho et al. (2014) dizem que o mapeamento da perda de solo, identificando áreas susceptíveis ao processo erosivo, é ferramenta de planejamento ambiental para os órgãos gestores e administradores de Áreas de Proteção Ambiental. Para os autores, é possível também de ser útil em programas de Pagamento por Serviços Ambientais, dado que o levantamento dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo mostra-se como excelente meio de obter dados necessários para o diagnóstico físico do plano de manejo, tanto de Áreas de Proteção Ambiental como de qualquer outra Unidade de Conservação.

A espacialização de dados de perda potencial de solo por erosão mostra-se eficiente em estudos de caso, como mostra estudo realizado por Guimarães et al. (2011), onde a utilização do ArcGIS para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) por erosão laminar demonstra-se bastante eficaz, e apresenta coerência com dados obtidos por outros autores (WEILER, 2017; DA SILVA et al., 2013; GALDINO e WEILL, 2010; MONTEBELO et al., 2005) que utilizaram outros software em ambiente SIG e métodos diretos.

### 5.2.2 Balanço Hídrico Climatológico

Uma das variáveis frequentemente utilizadas para análises de zoneamentos ambientais, florestais, agrícolas, é o Balanço Hídrico Climatológico – BHC (YAMADA, 2011; BURIOL et al., 2008; POLETTINI NETO, 2013). Estudos sobre o balanço hídrico climatológico são fundamentais para o zoneamento, pois aponta a disponibilidade hídrica, base para a produtividade de um determinado local.

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo

(SANTOS et al., 2013). Estudo realizado por Fenner (2014) aponta que, para o Estado do Mato Grosso, o balanço hídrico apresentou o mesmo comportamento da precipitação, uma vez que a temperatura não sofre grandes variações durante o ano.

O balanço hídrico é uma primeira avaliação de uma região, que se determina a contabilização de água de uma determinada camada do solo onde se definem os períodos secos (deficiência hídrica) e úmidos (excedente hídrico) de um determinado local (REICHARDT, 1990), assim, identificando as áreas onde as culturas podem ser exploradas com maior eficácia (BARRETO et al., 2009).

Alguns autores têm procurado especializar os BHC, como D'Angiolella et al. (2005) e Cecílio et al. (2012). Carvalho Neto (2016) em sua tese de doutorado, desenvolveu um algoritmo em linguagem Python™ (PYTHON SOFTWARE FOUNDATION, 2017) utilizando o *package* ArcPy® de especialização do Balanço Hídrico Climatológico, avaliando o desempenho do mesmo quanto à qualidade da informação e suas potencialidades.

### 5.2.3 Zoneamento Ambiental da Silvicultura

O Zoneamento Ambiental da Silvicultura – ZAS, em suas diretrizes por Unidade de Paisagem e Bacia Hidrográfica, estabelecidas em 2010 pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul, classifica a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, como Unidade de Paisagem Natural PM9, caracterizada por vegetação de Estepe Gramíneo Lenhosa com floresta de galeria, relevo plano a levemente ondulado, formado por coxilhas suaves, onde destaca-se a presença marcante das matas nas depressões do terreno, que acompanham os cursos d'água e nascentes que drenam para as Regiões Hidrográficas do Uruguai e Guaíba, com paisagem homogênea, caracterizada por visuais amplas, típicas de horizontalidade proporcionadas pela condição de campo. Ocorrência dos campos típicos denominados campos de *Aristida longiseta* (capim barba de bode), sendo a Unidade de Paisagem Natural de maior homogeneidade de paisagem por extensão territorial e que abrange o maior número de municípios do Estado (89 municípios).

## 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento ambiental do uso do solo, assim definido neste trabalho, considera o cruzamento dos mapas de perda potencial de solo por erosão e de balanço hídrico climatológico. A elaboração dos mapas de perda potencial de solo por

erosão, visando minimizar tais perdas, baseou-se em Weiler (2017), indicando limites potenciais de criticidade em função de processos erosivos ocasionados por chuvas máximas, períodos onde ocorrem as maiores perdas. Já para o balanço hídrico climatológico, os mapas foram elaborados fundamentando-se em trabalho desenvolvido por Carvalho Neto (2016), apontando as áreas de criticidade relacionadas à disponibilidade hídrica e visando minimizar perdas por déficit hídrico, considerando as chuvas mínimas, médias e máximas. Para elaboração dos mapas de fragilidade considerou-se uma série histórica de 30 anos (1985 – 2015).

O planejamento ambiental do uso do solo para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, aponta as áreas potenciais de fragilidade para uso do solo, as quais foram divididas em classes, determinando assim as áreas de criticidade de uso do solo para a bacia.

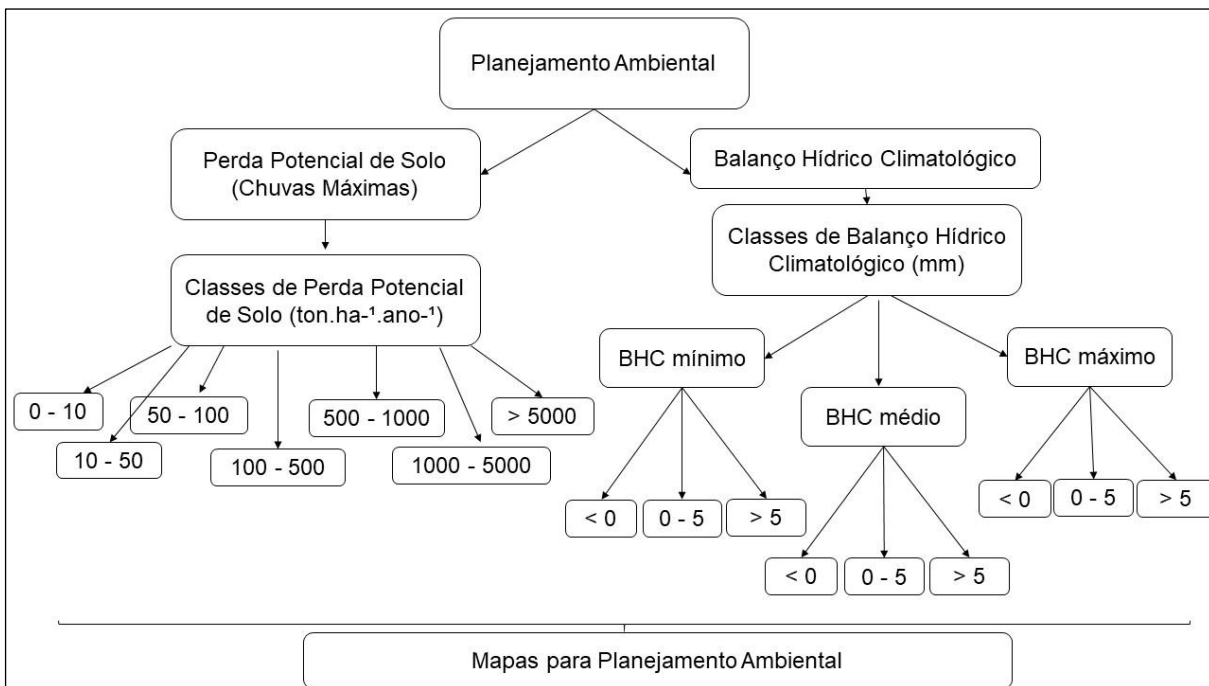
A perda potencial de solo para o estudo foi determinada por meio da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), alterando o uso e cobertura de solo e assim criando os cenários de uso e cobertura do solo. Os cenários concebidos basearam no uso atual da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, onde no Cenário 1 toda a área da bacia é coberta pelo uso agropecuária (Soja/Pastagem/Soja), no Cenário 2, pelo uso campestre e no Cenário 3, pelo uso floresta/reflorestamento. Para ambos os cenários o uso antrópico urbano permanece inalterado. A perda potencial de solo é gerada multiplicando-se os fatores da USLE, com auxílio do Software ArcGIS, versão 10.5 e a ferramenta *Map Algebra – Raster Calculator*. Assim, as áreas que ficaram suscetíveis a perdas de solo maiores que a classe de  $100 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , pré-definida por Weiler (2017), passaram por uma nova classificação, em cada uma das 8 classes de perdas de solo definidas pela mesma autora. Ainda, na classe para perdas maiores que  $5.000 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  não houveram perdas, passando a ter 7 classes de perdas de solo. Os cenários de perda de solo por erosão foram divididos em classes de perda para fins de planejamento, sendo as mesmas: 0 – 10; 10 – 50; 50 – 100; 100 – 500; 500 – 1000; 1000 – 5000 e  $> 5000 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

O balanço hídrico climatológico mensal para a série histórica de dados foi gerado em função da precipitação média mensal, evapotranspiração média mensal, em função da temperatura e capacidade de água disponível, baseada no uso e tipo de solo da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS. O balanço hídrico climatológico foi gerado por meio do algoritmo em linguagem Python™ (PYTHON

SOFTWARE FOUNDATION, 2017) utilizando o *package* ArcPy®, utilizando o Software ArcGIS, versão 10.5. O balanço hídrico climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, em função da distribuição das chuvas, foi dividido em anos secos (chuvas mínimas), anos normais (chuvas médias) e anos chuvosos (chuvas máximas), dividido em 3 classes: < 0; 0 – 5 e > 5 mm (FIGURA 41).

Para o cruzamento dos dados do BHC e Perda Potencial de Solo por Erosão e geração dos mapas de fragilidade para planejamento ambiental do uso do solo, utilizou-se a ferramenta *Map Algebra - Raster Calculator*, uma das ferramentas do Software ArcMap Versão 10.5, que multiplica os mapas já gerados anteriormente e utilizado no processamento dos dados, conforme fluxograma a seguir (FIGURA 32).

Figura 32 - Fluxograma de elaboração dos mapas para planejamento ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Os mapas de planejamento ambiental da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, foram gerados em função das classes de fragilidade apresentadas pelos critérios de perda potencial de solo por erosão e balanço hídrico climatológico.

As classes de fragilidades (TABELA 15) indicam que, à medida que aumenta o valor de fragilidade, diminui a criticidade, ou seja, o valor 1 representa a maior criticidade e o valor 21, a menor criticidade para a Bacia estudo de caso Cachoeira

Cinco Veados, RS. Para fins de planejamento, adotou-se que, para perda potencial de solo que encontram-se abaixo de  $100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  estão dentro do limite pré-estabelecido por Weiler (2016). Já para perda potencial acima deste limite, a área passa a ter outro uso mais protetivo, passando a ser área de planejamento.

Tabela 15 - Classes de Fragilidade para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Fragilidade	BHC (mm)		
	Perda Potencial de Solo ( $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )	< 0	0 - 5
1	7	14	21
2	6	13	20
3	5	12	19
4	4	11	18
5	3	10	17
6	2	9	16
7	1	8	15

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O planejamento de bacias hidrográficas, sejam pequenas ou de grandes proporções, exige um conhecimento técnico multidisciplinar, pois envolve, além de estrutura física, pessoas, gestão, tempo e dinheiro.

Nesta pesquisa, realizou-se estudo de planejamento de uso do solo para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando dois critérios, enfatizando a forma de como auxiliam na tomada de decisão.

### 5.4.1 Primeira variável de planejamento de uso do solo

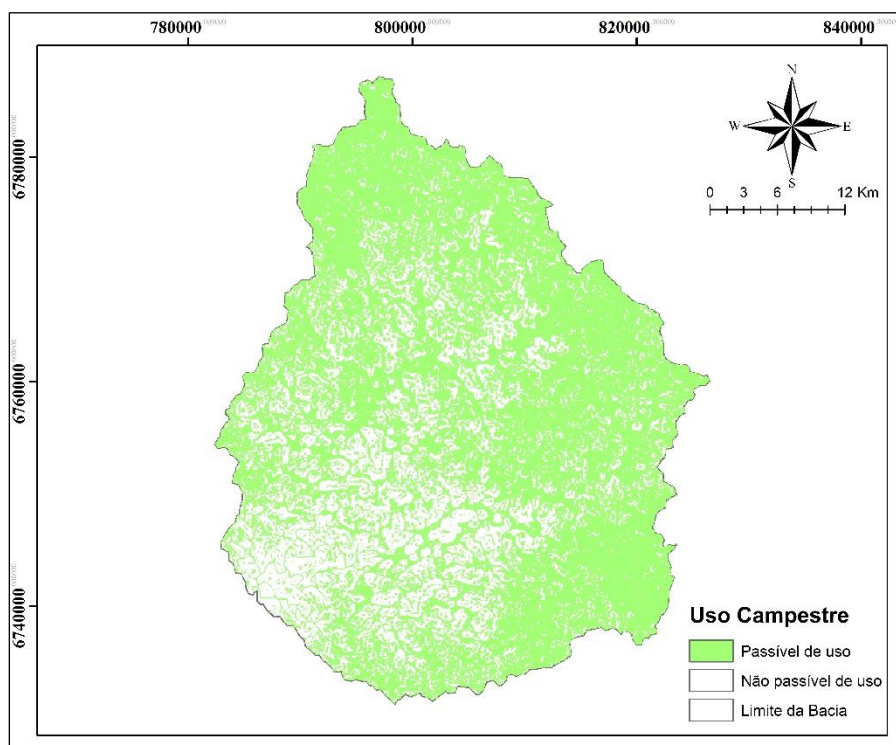
A primeira variável foi trabalhada a partir da aplicação do método de perda potencial de solo para cada cenário de tipo de uso do solo, de modo que a análise conjunta e sucessiva, dos resultados de perdas de solo conforme proposto por Weiler (2017), resultou em um cenário de uso do solo para toda a área, onde as perdas de solo são mínimas até a classe de  $100 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

A critério estabelecido, de acordo com os usos atuais da Bacia, o primeiro cenário foi concebido respeitando o uso antrópico e recobrando o restante da bacia com uso campestre (FIGURA 33). Áreas que assumem o valor 0 (zero) são as que estão de acordo com o critério de perda mínima sugerido por Weiler (2017), e áreas

que as que assumem valor 1 (um) são áreas que precisam de planejamento, pois as perdas estão acima do limite de perda estabelecido.

Para o uso de solo com cobertura campestre na Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, admitindo-se o uso somente em áreas dentro do limite de perdas estabelecido de  $100 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ,  $1.070,56 \text{ Km}^2$  é passível de uso, sem ocasionar perdas acima do limite. Ou seja, em 30,6% da área da bacia há necessidade de planejamento de outros usos do solo, menos degradantes, em razão desta área, com esse uso, estar suscetível a perdas de solo maiores que o limite considerado. A perda potencial de solo para este uso é de  $3.211,49 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Figura 33 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso campestre.

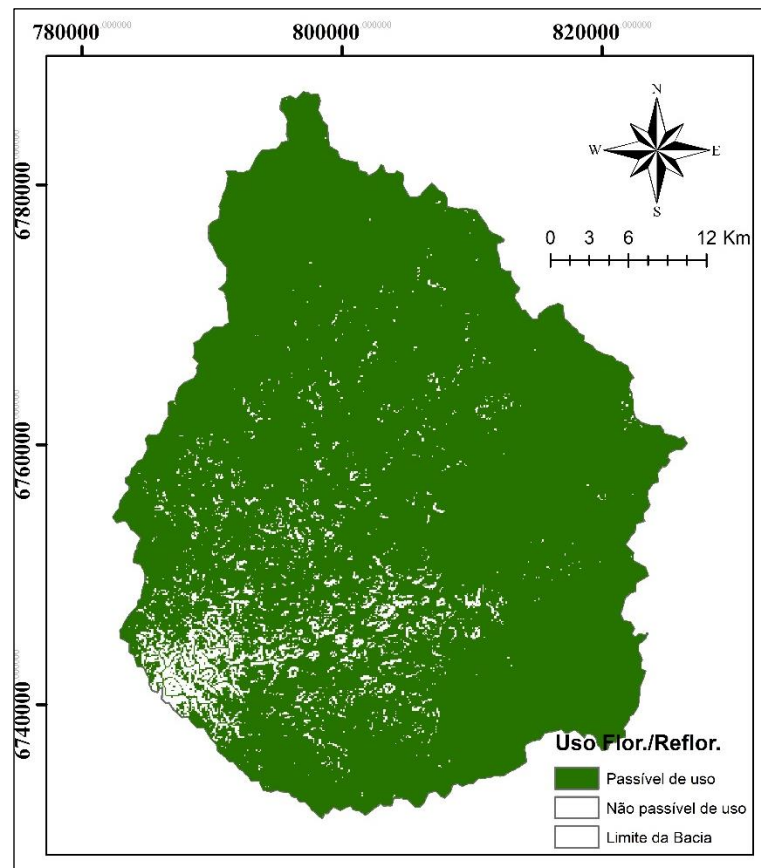


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Para planejamento do uso do solo com a utilização de floresta/reflorestamento (FIGURA 34), incluindo áreas de silvicultura, 94,66% ( $1.459,59 \text{ Km}^2$ ) da área total da Bacia Cachoeira Cinco Veados admite esse uso e cobertura do solo, em função do limite perda de solo já estabelecido, pois a perda potencial de solo atinge valores em torno de 40% inferiores à perda quando o uso é campestre ( $1.267,54 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ).



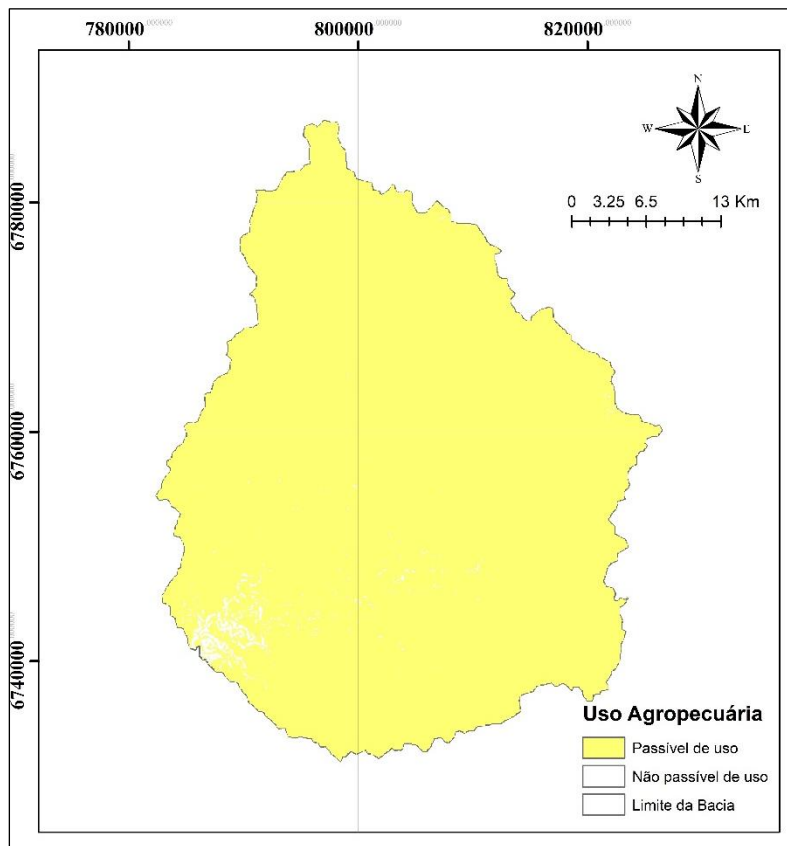
Figura 34 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso floresta/ reflorestamento.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Figura 35 observa-se que quando se cria um cenário com o uso agropecuária, exceto para o uso antrópico urbano, respeitando o limite de perdas já estabelecido, somente 1,02% (15,81 Km<sup>2</sup>) de toda a área da Bacia Cachoeira Cinco Veados não admite o uso para esta cobertura de solo, ou seja, em 1.526,14 Km<sup>2</sup> podem ser manejados com o uso agropecuária. A perda potencial de solo para o uso agropecuária é de 600,82 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo um uso mais protetivo, em função do uso do solo, conforme o critério adotado para o cenário, ser intercalado durante o ano entre soja/pastagem/soja (WEILER, 2017).

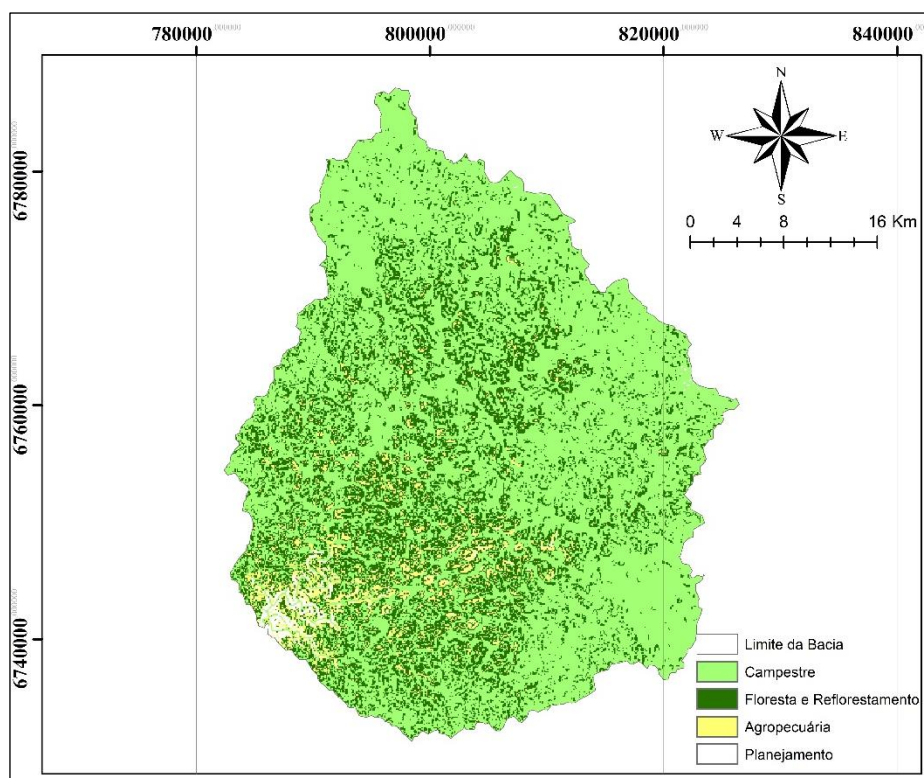
Figura 35 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, com uso agropecuária.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Após a reclassificação dos usos do solo, de acordo com cada cobertura, dentro do limite de perda potencial de solo estabelecido para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, obteve-se o mapa geral de planejamento ambiental de uso do solo (FIGURA 36).

Figura 36 - Mapa de planejamento da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

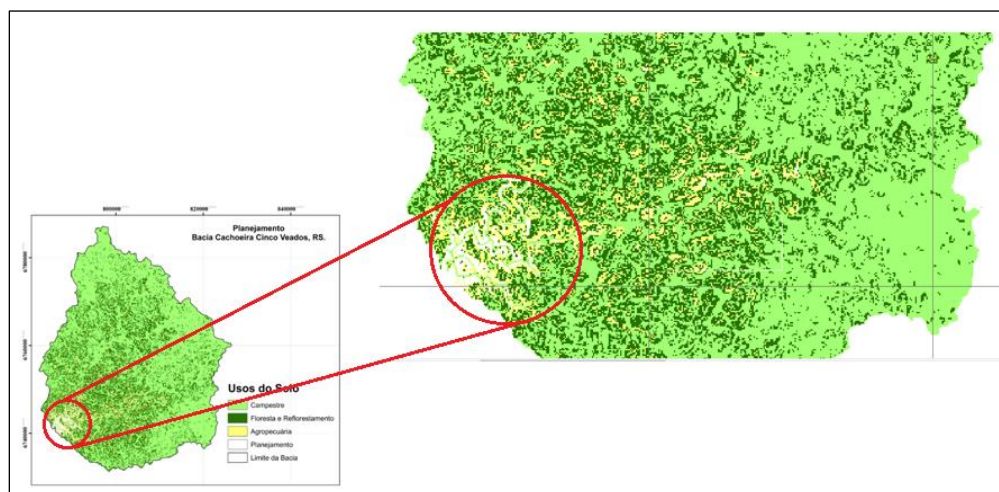


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Este planejamento considera que, respeitando o critério de limite máximo de potencial de perdas, cada área é passível de ser utilizada com o uso mapeado, mas também de qualquer outro uso que tenha menor potencial de erosão, ou seja, um “C” menor. Dessa forma, os planejadores, empreendedores ou mesmo gestores, tem uma referência para utilizar em tomadas de decisão quanto aos usos, e quais as possíveis áreas com necessidades de estudos mais detalhados visando minimização de perdas por erosão, em função do uso.

O cenário de planejamento, apesar de ser fundamentado no uso de solo que acarrete em perdas mínimas, ainda assim necessita de atenção em algumas áreas. É o que acontece no entorno do exutório da bacia e em alguns outros pontos isolados (FIGURA 37), representando em torno de 5,34% (82,36 km<sup>2</sup>) da área total da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Figura 37 - Áreas não passíveis de uso da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Observa-se que, mesmo trabalhando com cenários que priorizem perda potencial de solo mínima, ainda assim 15,81 km<sup>2</sup> não são passíveis de uso, em função do limite estabelecido de perda, conforme metodologia descrita por Weiler (2017), requerendo um planejamento de uso do solo detalhado e pontual para esta área, por ser próxima ao exutório da bacia e de relevo íngreme, associado ao tipo de solo presente nesta área (Chernossolo). Tais áreas são indicativos de que as mesmas podem ser utilizadas em áreas de zoneamento, como pagamento de serviços ambientais, áreas de proteção ambiental, Unidades de Conservação.

A Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, mesmo estando inserida no Bioma Pampa, possui algumas características de região serrana, e isso deve ser levado em consideração quando se faz um planejamento ambiental de uso do solo, diretamente influenciado pelo relevo local.

O mapa de perda potencial de solo, considerando cenário chuvoso para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, foi classificado por classes de perda potencial (FIGURA 38). A classe 8 não está representada na reclassificação da área em função de não haver perdas de solo acima de 5000 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Na Tabela 16 estão apresentadas as áreas (km<sup>2</sup>%) por classe de perda. Na Figura 39 apresenta-se o mapa unindo todas as classes.

Pode-se observar, nos mapas, que a Classe 3 (10 – 50 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) é a que abrange a maior área, representando a maior área de perda potencial de solo

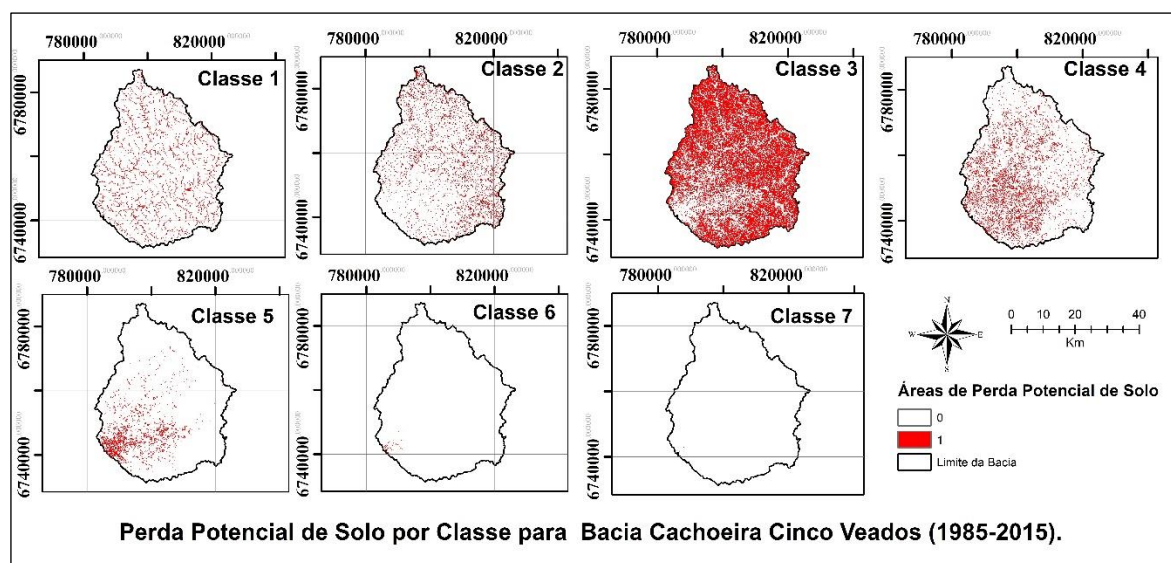
(59,52%) em relação a área total da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS.

Tabela 16 - Área total por classe de perda potencial de solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Classe de Perda (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	130.03	8.43
2	179.87	11.67
3	917.71	59.52
4	231.98	15.05
5	80.29	5.21
6	1.7	0.11
7	0.17	0.01

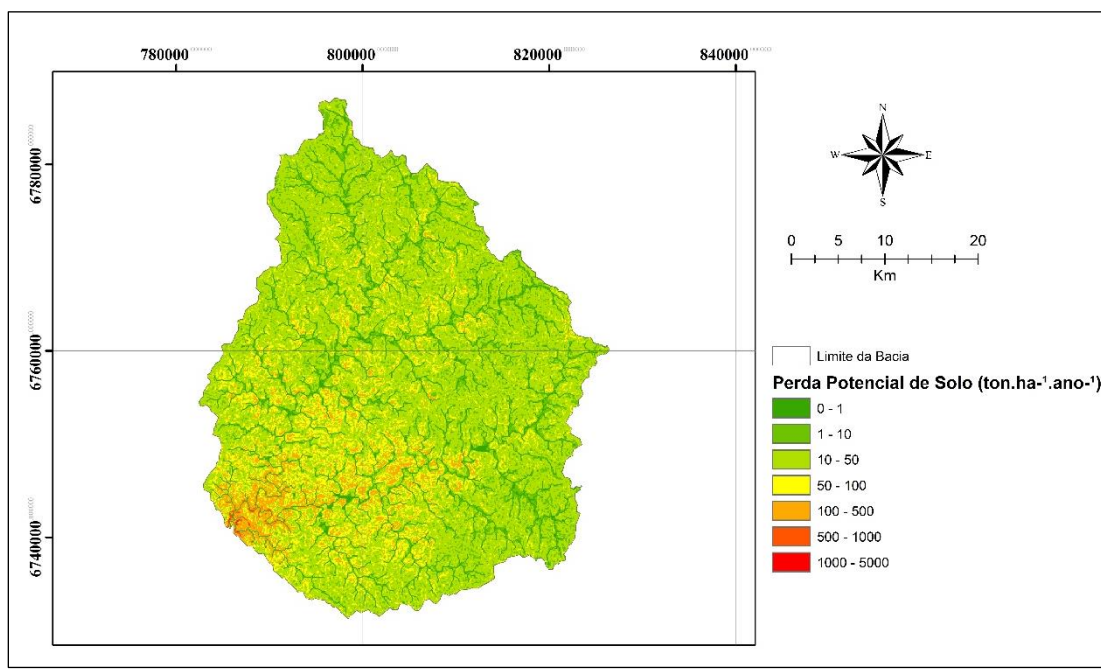
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Figura 38 - Mapas por classes de perda potencial de solo do cenário planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Figura 39 - Mapa de classes de perda potencial de solo para o cenário Planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

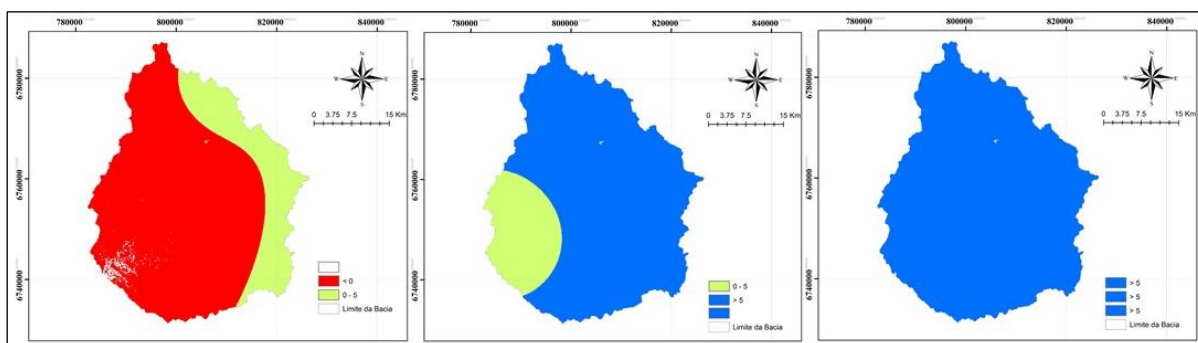
#### 5.4.2 Segunda variável para planejamento de uso do solo

A segunda variável de planejamento de uso do solo para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, foi a aplicação do método Balanço Hídrico Climatológico, especializado, considerando o cenário de anos secos, normais e chuvosos, considerando uso do solo atual.

No planejamento ambiental do uso do solo da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, trabalhou-se especificamente com o mês de janeiro, em função de ser o mês que apresentou a menor média mensal para o Balanço Hídrico Climatológico, chegando a atingir, para anos secos (considerados anos com chuvas mínimas), valores negativos.

Dividiu-se o balanço hídrico em 3 classes (FIGURA 40). A classe 1 aponta maior criticidade para o estudo de caso e a classe 3 aponta menor criticidade.

Figura 40 - Mapas por classes do balanço hídrico climatológico (mm) do cenário planejamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

#### 5.4.3 Critério de planejamento de uso do solo com duas variáveis

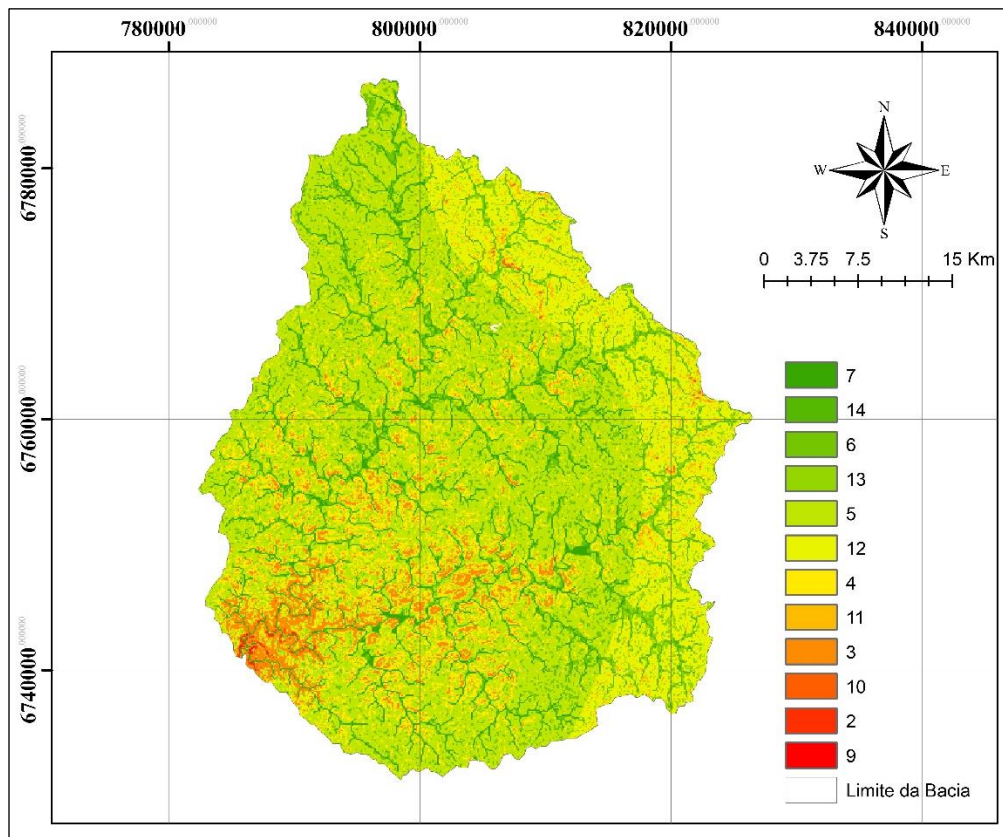
O planejamento ambiental de uso do solo para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, teve como resultado mapas de fragilidade, a partir do cruzamento dos mapas de classes de perda potencial de solo por erosão hídrica e de classes do balanço hídrico climatológico.

Foram elaborados 3 mapas de planejamento ambiental de uso do solo: cruzamento dos dados de perda potencial de solo considerando chuvas máximas e balanço hídrico climatológico considerando chuvas mínimas; cruzamento dos dados de perda potencial de solo considerando chuvas máximas e balanço hídrico climatológico considerando chuvas médias e cruzamento dos dados de perda potencial de solo considerando chuvas máximas e balanço hídrico climatológico considerando chuvas máximas.

Para o processamento dos 3 mapas, considerou-se que a criticidade à erosão e ao déficit hídrico, analisados conjuntamente, diminui à medida que aumenta a classe de fragilidade.

Na Figura 41 está apresentado o Planejamento Ambiental de uso do solo para a Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando os anos secos. Observa-se que existem 12 classes de fragilidade, de acordo com a perda potencial de solo por erosão e o balanço hídrico climatológico.

Figura 41 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A Tabela 17 apresenta os valores de fragilidade obtidos com a multiplicação do mapa de perda de solo por erosão para chuvas máximas e balanço hídrico climatológico para chuvas mínimas. A multiplicação foi feita considerando 7 classes de perdas potenciais de solo e 3 classes do balanço hídrico climatológico. A classe de fragilidade que representa menor criticidade para a Bacia está definida pelo número 14. Para valores “x”, não houve área representada. Na Tabela 18 verifica-se o tamanho da área abrangida por classe de fragilidade e o percentual representativo para a área total da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Tabela 17 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Mín).

USLE (Máx) (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	BCH (Mín) (mm)		
	< 0	0 - 5	>5
1	7	14	x
2	6	13	x
3	5	12	x
4	4	11	x
5	3	10	x
6	2	9	x
7	x	x	x

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Tabela 18 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Mín)).

Perda Potencial de Solo (Máx) X BHC (Mín)		
Classe de Fragilidade	Área (Hectare)	Área (%)
7	10104	6.5
14	2823	1.8
6	12312	7.9
13	5668	3.7
5	69559	44.9
12	22190	14.3
4	21150	13.7
11	2034	1.3
3	7918	5.1
10	111	0.1
2	190	0.1
9	17	0.01

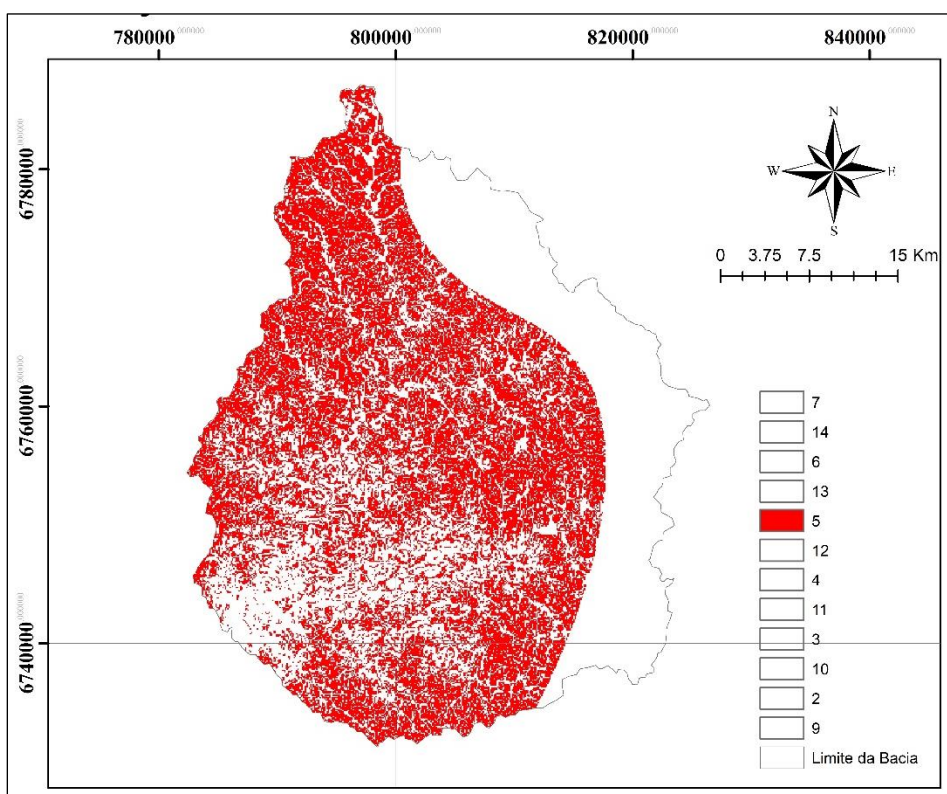
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Figura 42 verifica-se que a maior classe de fragilidade em tamanho de área de abrangência está representada pela Classe 5, cruzamento dos dados de perda potencial de solo da Classe 3 (10 – 50 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e os dados do BHC para chuvas mínimas da Classe 1 (< 0 mm). A classe 5 de fragilidade representa o quinto maior valor de fragilidade para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. A maior área de abrangência desta classe justifica-se por ser a classe de perda potencial de solo que compreende maior área da bacia.

Em áreas onde a demanda por água está acima da quantidade disponível, trabalha-se com culturas com menor exigência, ou que conseguem uma maior

eficiência no uso da água, como é o caso da cultura de eucalipto. Apesar da demanda de água ser maior, em função da maior produção de biomassa quando comparado a uma cultura agrícola, a cultura de eucalipto possui mecanismos fisiológicos que reduzem a transpiração, reduzindo a área foliar em locais de maior déficit hídrico (SOUZA, 2009).

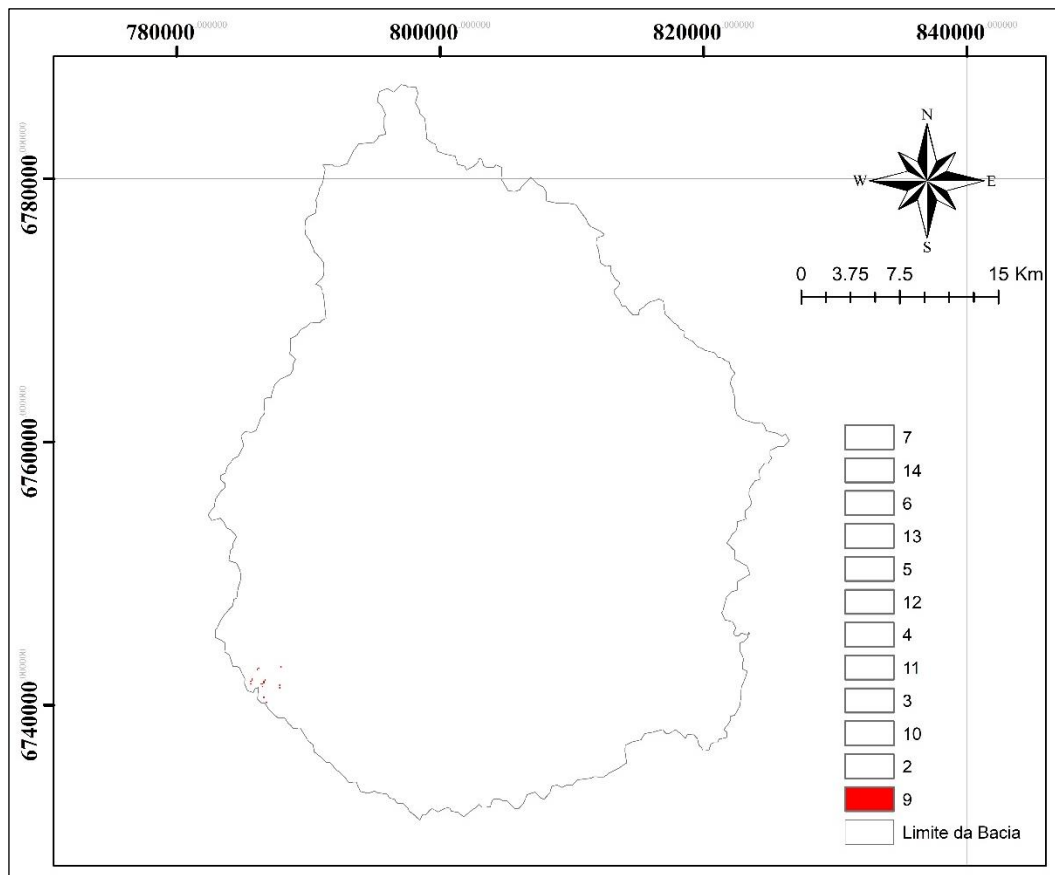
Figura 42 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A classe de fragilidade com menor área representada quando considerado o BHC para chuvas mínimas foi a Classe 9 (FIGURA 43), com 17 hectares de área, sendo que a representação se dá nas proximidades do exutório da bacia. Esta classe considera perda potencial de solo por erosão da Classe 1 ( $0 - 10 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) e BHC da Classe 2 ( $0 - 5 \text{ mm}$ ).

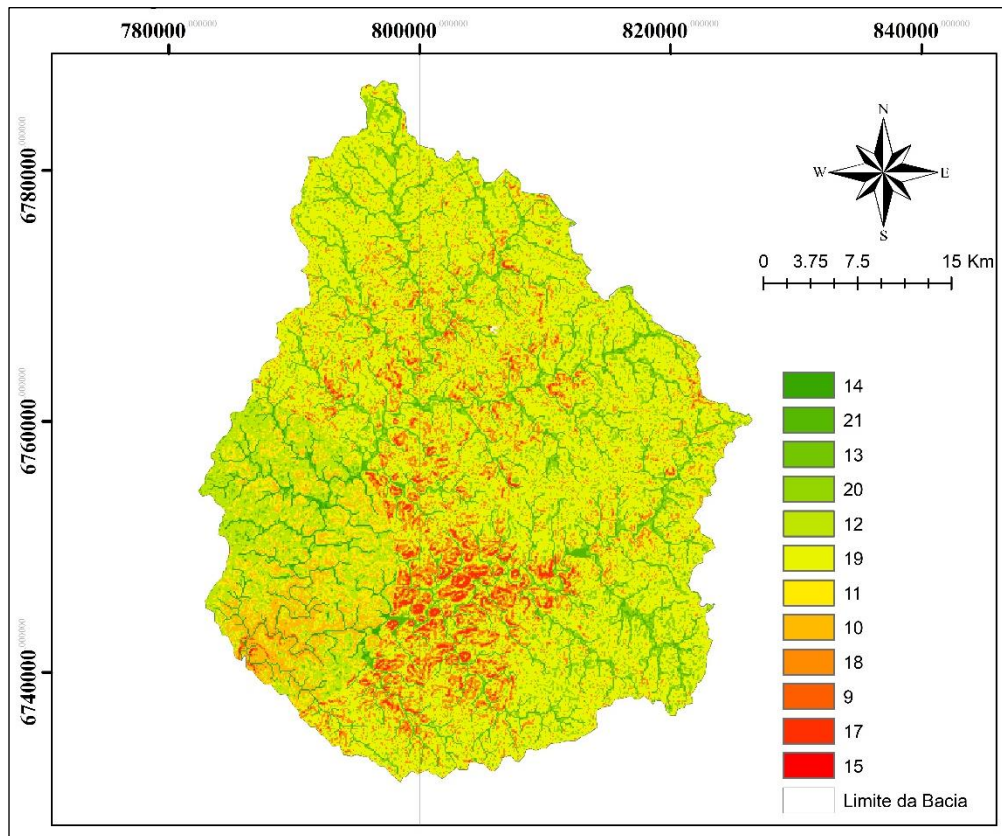
Figura 43 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Mínimo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Figura 44 observa-se o planejamento ambiental do uso do solo da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, para anos normais, ou seja, anos com chuvas médias. Para este cenário de planejamento, foram geradas 12 classes de fragilidade, que consideraram perda potencial de solo para chuvas máximas e BHC para chuvas médias.

Figura 44 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Tabela 19 é possível observar que quando se consideram chuvas médias, a Classe 1 do BHC passa a ser quase insignificante, ou seja, não há déficit hídrico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Tabela 19 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Méd.).

USLE (Máx) (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	BHC (Méd.) (mm)		
	< 0	0 - 5	> 5
1	x	14	21
2	x	13	20
3	5	12	19
4	x	11	18
5	x	10	17
6	x	9	16
7	x	8	15

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A classe 19 de fragilidade representa em torno de 51,9 % da área total da bacia, e está associada a perda potencial de solo da classe 2 ( $1 - 10 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e a classe 2 do BHC (0 – 5 mm).

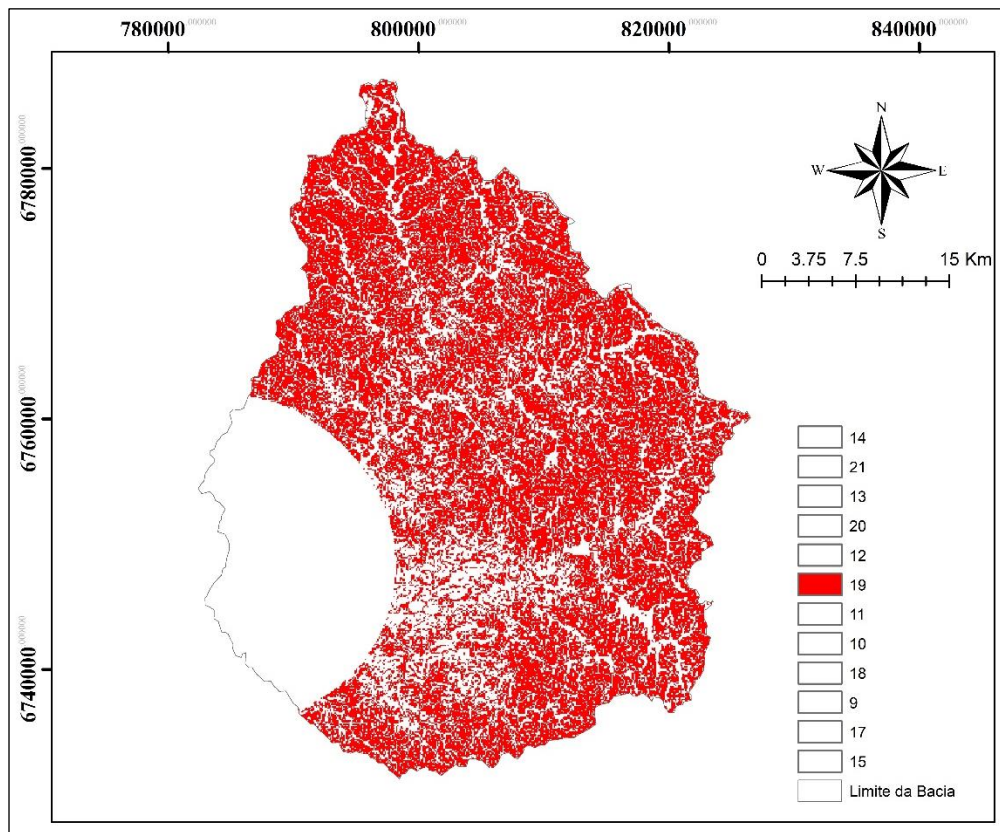
Tabela 20 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Méd.)).

<b>Perda Potencial de Solo (Máx.) X BHC (Méd.)</b>		
<b>Classe de Fragilidade</b>	<b>Área (Hectare)</b>	<b>Área (%)</b>
14	2225	1.4
21	10702	6.9
13	1531	1.0
20	16449	10.6
12	11308	7.3
19	80441	51.9
11	6976	4.5
10	4623	3.0
18	16208	10.5
9	190	0.1
17	3406	2.2
15	17	0.01

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A Figura 45 representa a classe de fragilidade 19, sendo mais abrangente da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando BHC médio.

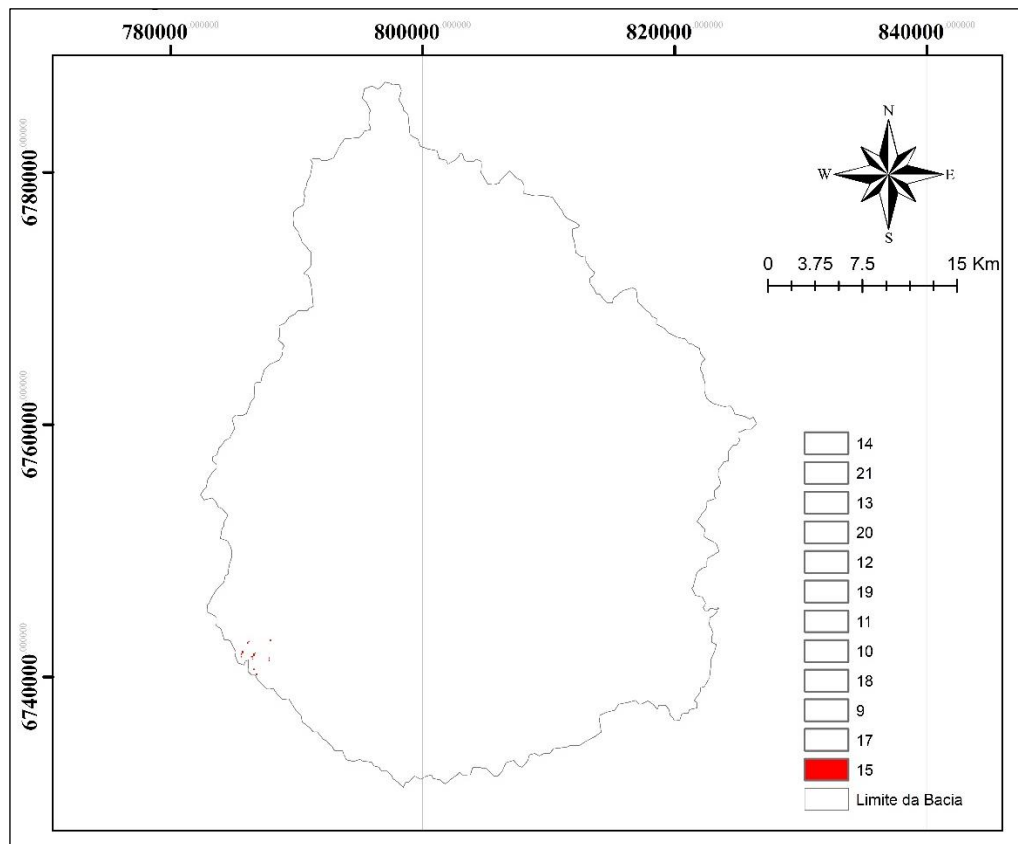
Figura 45 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A Figura 46 aponta que a classe de fragilidade 15, indicada pela perda potencial de solo da Classe 4 ( $50 - 100 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ) e BHC da Classe 2 ( $0 - 5 \text{ mm}$ ), representa a menor área de fragilidade para este cenário de planejamento (17 hectares).

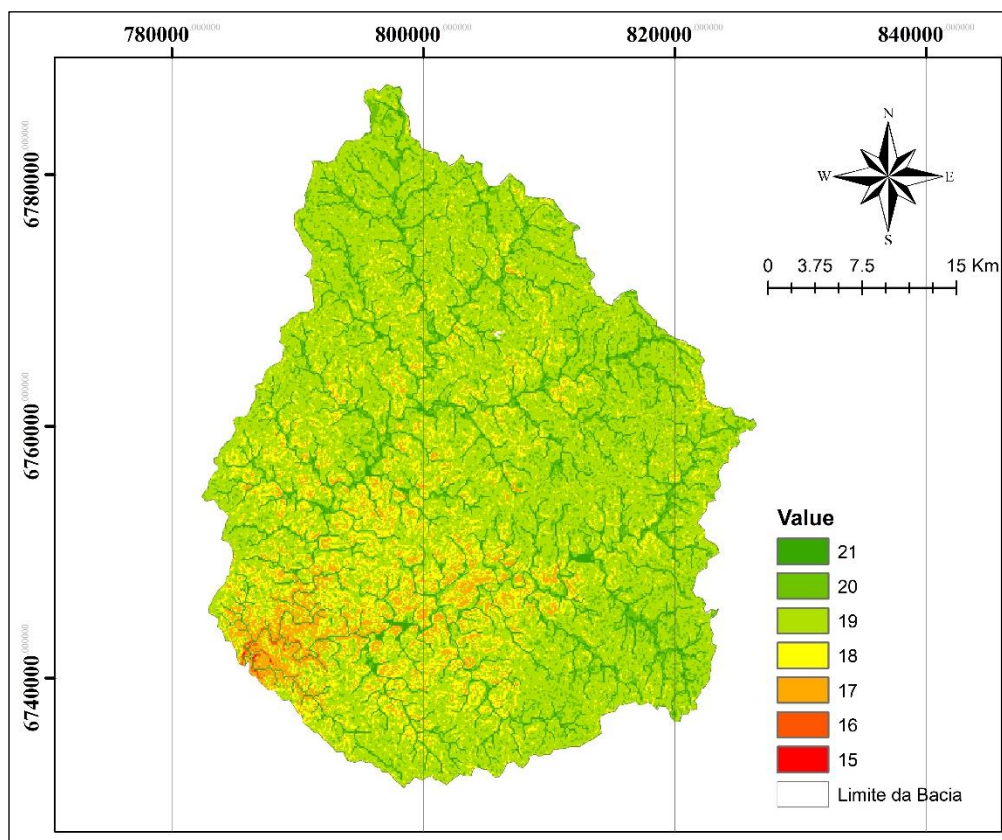
Figura 46 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Médio.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Considerando chuvas máximas, tanto para as classes de perda potencial de solo por erosão, quanto para o balanço hídrico climatológico, observa-se que as classes de fragilidade têm uma redução (FIGURA 47). Tal resultado aponta para a maior criticidade da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, para anos com chuvas mínimas e médias (anos secos e normais), evidenciando que, mesmo em anos chuvosos apresentando uma maior criticidade em relação a perda potencial de solo por erosão hídrica, ainda assim as áreas não são tão suscetíveis a fragilidades quando analisado em conjunto com a variável balanço hídrico climatológico.

Figura 47 - Mapa do Planejamento Ambiental da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na tabela 21 observa-se que somente uma classe de fragilidade está na Classe 2 do BHC, as demais já apontam para chuvas acima de 114 mm, chuva mínima para os anos chuvosos.

Tabela 21 - Classe de Fragilidade para Perda Potencial de Solo (Máx) e BHC (Máx).

USLE (Máx) (ton.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	BCH (Máx.) (mm)		
	< 0	0 - 5	>5
1	x	x	21
2	x	x	20
3	x	x	19
4	x	x	18
5	x	x	17
6	x	x	16
7	x	x	15

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.



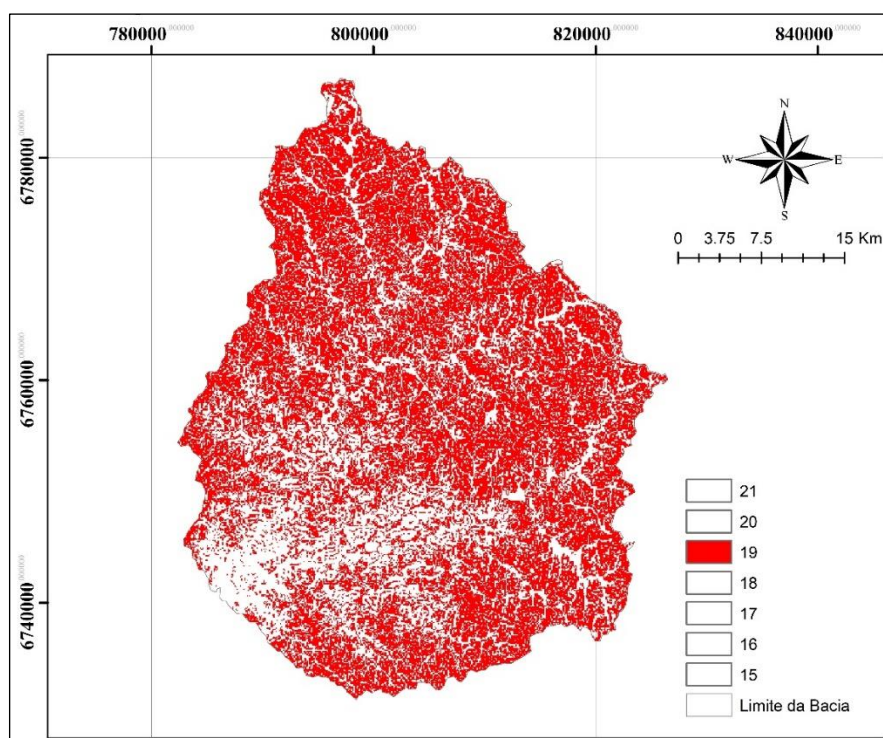
Tabela 22 - Área da Bacia por Classe de Fragilidade (USLE (Máx) e BHC (Máx)).

Perda Potencial de Solo (Máx.) X BHC (Máx.)		
Classe de Fragilidade	Área (Hectare)	Área (%)
21	12927	8.3
20	17980	11.6
19	91749	59.2
18	23184	15.0
17	8029	5.2
16	190	0.1
15	17	0.01

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

A Classe 19 de fragilidade abrange o maior percentual de área da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, para chuvas máximas, e considera perda potencial de solo da Classe 5 (100 – 500 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e BHC da Classe 3 (> 5 mm). Na Figura 48 verifica-se que a Classe 19 de fragilidade está distribuída em toda a bacia, sendo que somente as áreas próximas ao curso de água não estão compreendidas nesta classe.

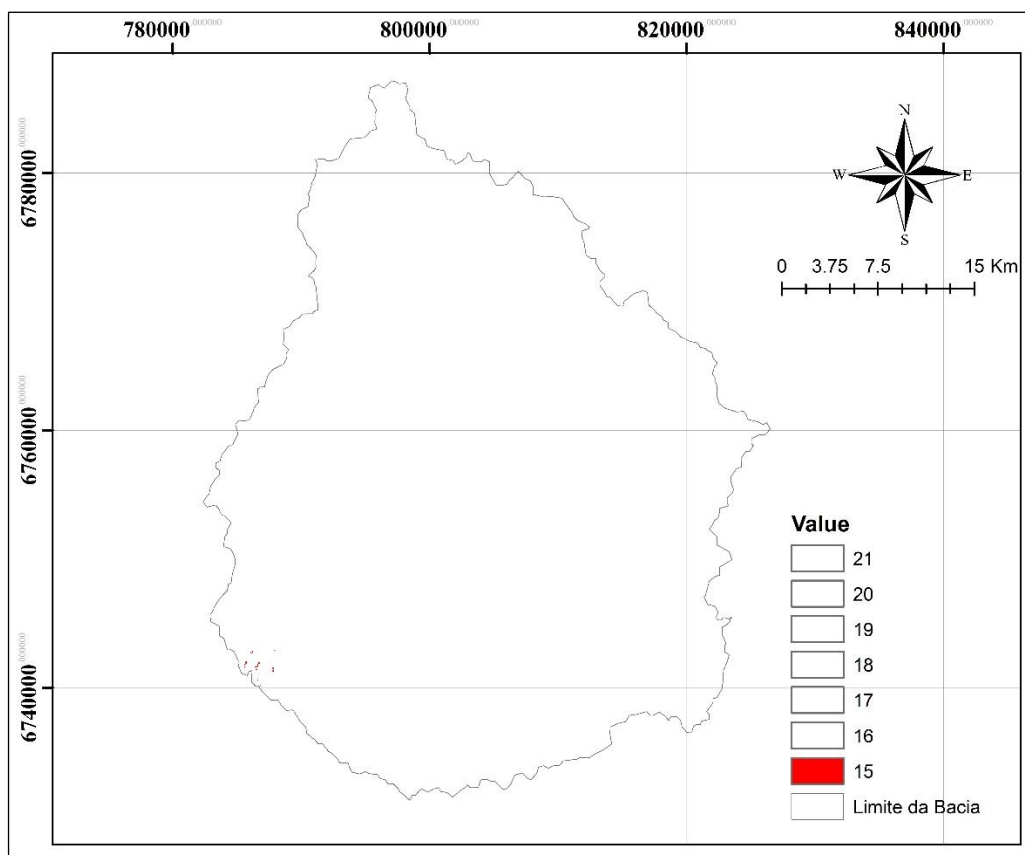
Figura 48 - Maior Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Na Figura 49 observa-se a Menor Classe de Fragilidade, considerando a perda potencial de solo e balanço hídrico climatológico, ambos para chuvas máximas.

Figura 49 - Menor Classe de Fragilidade considerando Perda Potencial de Solo Máxima e BHC Máximo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Para o planejamento ambiental de uma área, como por exemplo, para implantação de uma cultura, seja florestal ou agrícola, é necessário ter conhecimento da disponibilidade de água no solo e da perda potencial de solo para o local, de acordo com dados históricos médios. Quando se trata de culturas agrícolas, deve-se atentar para períodos críticos, ou seja, quando os valores do balanço hídrico climatológico atingem valores abaixo da capacidade de água disponível, estágio em que a planta não consegue mais retirar água do solo, ocasionando perdas na produção. Para culturas florestais, cujas raízes são capazes de buscar água nas camadas mais profundas do solo, os valores críticos do balanço hídrico climatológico devem ser observados com maior atenção no período de implantação e estabelecimento da cultura, considerando os 3 primeiros meses após o plantio das mudas no campo.

Estabelecer uma relação entre a demanda de água por uma cultura e a disponibilidade de água no solo contribui no prognóstico do potencial produtivo dos plantios florestais, considerando as determinadas condições climáticas às quais a cultura está exposta na região onde é feito seu cultivo, fatores estes determinantes na produtividade e na duração do ciclo. Para a cultura do eucalipto, por exemplo, destaca-se a necessidade de irrigação na fase de plantio, que comumente utiliza-se polímeros hidroretentores (hidrogel), reduzindo o número e volume de irrigações (ALVES, 2009).

Para longos períodos de falta de água disponível no solo, as culturas agrícolas ficam mais suscetíveis quando comparadas as culturas florestais, em função de as mesmas possuírem raízes superficiais e serem plantas de ciclo curto. O período de floração e formação de frutos para uma cultura agrícola varia, geralmente de 15 a 30 dias, ou seja, a não disponibilidade de água neste período pode ocasionar a perda total ou parcial da produção (GAZZOLA et al., 2012).

As atividades desenvolvidas na Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, são essencialmente agrícolas, sendo que as propriedades variam entre pequenas e médias, produzindo principalmente soja, trigo, milho, cevada, aveia, entre outras. O uso intenso das atividades agrícolas reflete diretamente na conservação da biodiversidade local, restando poucos remanescentes de ecossistemas naturais. Alguns municípios possuem áreas de silvicultura, normalmente associadas à cultura de fumo.

O Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS) é um importante instrumento de gestão ambiental, que veio para normatizar a produção da matéria-prima “florestal” no Estado, sendo esta ferramenta de planejamento instaurada no início do novo século (DE FARIA CORRÊA, 2010).

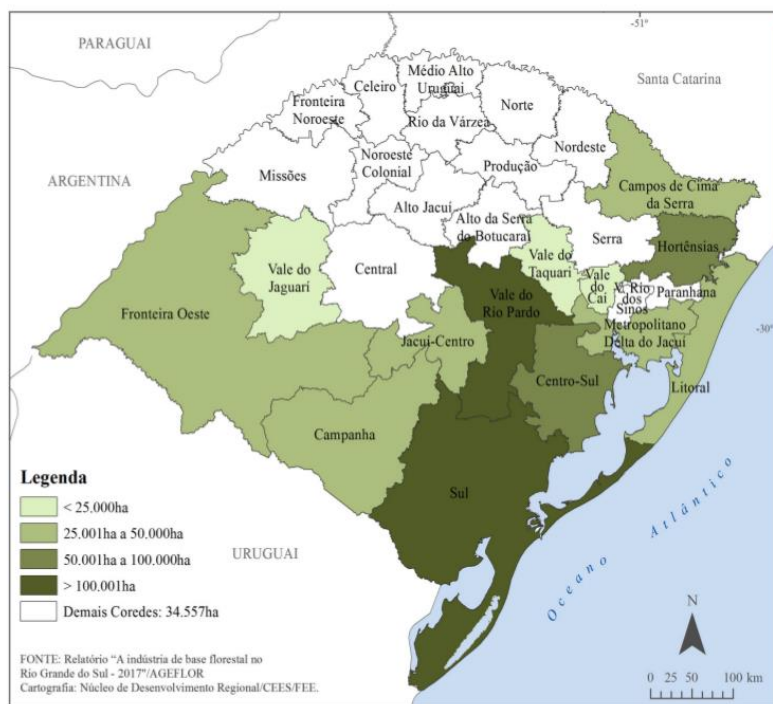
Com o advento da silvicultura no Rio Grande do Sul, instaurou-se um debate sobre a ocupação do solo com cobertura de florestas plantadas, principalmente com o avanço econômico estruturado em espécies exóticas e, principalmente, a sinalização de uma forte inclusão em áreas do bioma Pampa gaúcho. Com o aumento das discussões, aos poucos foi sendo embasada em conhecimento técnico e científico, caminhando para se estruturar de forma que se estabelecessem os três pilares da gestão sustentável: a viabilidade econômica, a justiça social e a capacidade suporte dos recursos naturais.

Nessa conjuntura, a silvicultura foi incluída no sistema de licenciamento integrado, através da Resolução n.º 84/2004, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (Consema), possibilitando que o conjunto de empreendedores participantes dessa cadeia produtiva efetivasse a regularização ambiental. Nessa trajetória, alguns arranjos foram feitos buscando aprimoramento da gestão. Salienta-se que qualquer ferramenta de gestão ambiental necessita, sistematicamente, de reavaliação e adequações às questões conjunturais.

Atualmente, segundo o relatório Indústria de Base Florestal no RS - 2017 da Associação Gaúcha de Empresas Florestais (AGEFLOR), com base em 2016, existem no RS 780,9 mil hectares de florestas plantadas, o que corresponde a 2,7% dos 28,2 milhões de hectares do território gaúcho. Segundo essa associação, os plantios de *Eucalyptus* sp. representam 54,6%, enquanto *Pinus* sp. corresponde a 33,9% e *Acacia* sp. a 11,5%. A área cultivada do RS corresponde a, aproximadamente, 10% da área total de florestas plantadas do Brasil.

Na Figura 50 é possível observar a distribuição da silvicultura nos 28 Conselhos Regionais de Desenvolvimento (Coredes), sendo que 95% da atividade silvicultural concentra-se em 14 conselhos.

Figura 50 - Coredes com a maior cobertura de florestas plantadas do RS - 2016.



Fonte: AGEFLOR, 2017.

Sendo os critérios ambientais descritos no Zoneamento Ambiental da Silvicultura e os parâmetros de ocupação, distância e tamanho de maciços florestais o que permeia e norteia o licenciamento, ainda, aliados ao cruzamento do mapeamento de bacias hidrográficas e unidades de paisagem natural, cerca de 10% estão saturadas, não tendo mais área livre para ampliação da silvicultura. Verifica-se também, a situação inversa, por apresentar uma ampla disponibilidade de áreas passíveis de licenciamento para plantio de espécies madeireiras na grande maioria dessas regiões, contrapondo as reclamações do setor florestal.

Considerando a Perda Potencial de Solo da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, por ordem de maiores perdas têm-se: uso campestre ( $3.211,49 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), uso floresta/reflorestamento ( $1.267,54 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) e uso agropecuária ( $600,82 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ). O uso antrópico urbano foi desconsiderado por ser área já consolidada. Tais dados indicam que, toda a área ocupada por uso campestre, é passível dos outros usos, pois as perdas potenciais são menores. As áreas que estão ocupadas por floresta/reflorestamento são passíveis de uso com agropecuária, que é o uso de menor impacto quando considerada a perda potencial de solo, determinada pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE).

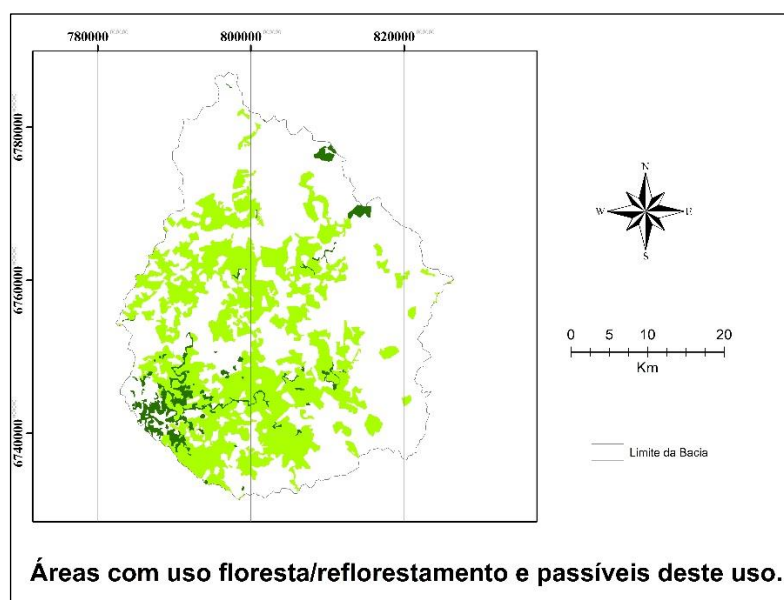
Analisando este contexto, baseando-se no tamanho das propriedades em geral da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, que tem variação de pequenas à médias, aponta-se que as áreas ocupadas pelo uso campestre são passíveis de uso com floresta/reflorestamento, respeitando o limite percentual para a unidade de paisagem, uma vez que se encontra dentro dos limites de perda potencial de solo aceitável e estão de acordo com o Zoneamento Ambiental da Silvicultura.

O uso com floresta/reflorestamento, que compreendem as áreas de silvicultura (florestas plantadas), soma  $46,38 \text{ km}^2$  ( $4.638 \text{ ha}$ ), representando 3% da área total da bacia ( $1.541,9 \text{ km}^2$ ). O Zoneamento Ambiental da Silvicultura do Rio Grande do Sul aponta que a Unidade de Paisagem PM9, na qual está inserida a Bacia Hidrográfica Ibicuí, representada pela sigla U50, comporta um percentual máximo para silvicultura de 10,8%, com maciços florestais de tamanho máximo  $16 \text{ km}^2$  ( $1.600 \text{ ha}$ ) e uma distância mínima entre maciços de 1,4 km. A partir dessas informações é

possível afirmar que novas áreas da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, podem ser convertidas em áreas de silvicultura.

Na Figura 51 observa-se as áreas já cobertas pelo uso floresta/reflorestamento, representada pela cor verde escuro. Na cor verde claro estão representadas as áreas que são passíveis de uso floresta/reflorestamento (486,7 km<sup>2</sup>), dentro dos limites de perda potencial de solo já estabelecidas. Porém, se toda a área passível de uso com floresta/reflorestamento for utilizada para este fim, excede o limite estabelecido pelo Zoneamento Ambiental da Silvicultura no RS, que é de 10,8% para esta unidade de paisagem.

Figura 51 - Áreas com uso floresta/reflorestamento e passíveis deste uso.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2018.

Ressalta-se a importância das florestas plantadas, mesmo em pequenas propriedades, pois pode contribuir como renda extra, além de outras funções, como: diminuição da pressão sobre florestas nativas; reaproveitamento de áreas degradadas pela agricultura; sequestro de carbono; proteção do solo e da água (CASTRO, 2017). Em áreas adjacentes a florestas nativas, ou mesmo a outros plantios florestais, podem servir como corredor ecológico para a fauna local.

## 5.5 CONCLUSÃO

A determinação de perda potencial de solo por erosão hídrica e balanço hídrico climatológico para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, permitiu subsídios para a

tomada de decisão no planejamento ambiental do uso e ocupação do solo. Em relação a identificação de áreas mais críticas, a metodologia empregada permitiu elencar as necessidades de estudos mais aprofundados da bacia em relação as condições apresentadas atualmente e a cenarização das situações criadas com a mudança da cobertura do solo, levando em consideração as variáveis climatológicas.

A metodologia utilizada para o planejamento ambiental do uso do solo da Bacia estudo de caso Cachoeira Cinco Veados, RS, pode facilmente ser empregada em outras bacias e áreas de estudo, considerando que a bacia estudada foi a área de teste. O aperfeiçoamento dos métodos utilizados leva em consideração os dados de entrada e a confiabilidade dos mesmos.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 CONCLUSÕES**

As principais conclusões são:

→ O planejamento ambiental em bacias hidrográficas pode contribuir para subsidiar a elaboração dos planos de recursos hídricos e estabelecimento de políticas públicas municipais, estaduais e da União que garantam a gestão e proteção da água em sua área de atuação, bem como sua disponibilidade, em quantidade e qualidade, para múltiplos usos, manutenção de ciclos naturais e a vida, em todas as suas formas.

→ A expansão territorial e a ocupação do solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, apresentam uma dinâmica marcada pela história econômica, política e social da região, sem foco em planejamento ambiental. Ao analisar as características do uso do solo, notam-se implicações ambientais ocasionadas pelo uso e manejo inadequado de algumas áreas, refletindo em perda potencial de solo acima do limite tolerado.

→ O planejamento de um território deve ser baseado na interpretação das potencialidades, vulnerabilidades, acertos, conflitos e riscos ocorrentes no ambiente. O planejamento ambiental que teve como objeto de estudo a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, baseado em perda potencial de solo por erosão e balanço hídrico climatológico, reflete uma situação real de grande parte das bacias hidrográficas da região sul do Brasil, cujas estações do ano são bem definidas, com chuvas regulares.

→ A falta de planejamento gera grandes perdas, não só ambientais, mas econômicas. A ênfase está na tomada de decisões, subsidiadas por um diagnóstico que identifique e defina o melhor uso possível dos recursos do meio planejado. Deve-se minimamente, reconhecer o dinamismo dos sistemas que compõem o mesmo, ou seja, uma atividade para ser implementada e não apenas uma produção de documentos. Tem continuidade ao longo do tempo. Através de mais uma fase, a de monitoramento e avaliação, nas quais os planos são submetidos a revisões periódicas, bem como as ações e os cronogramas de implementação.

→ Os modelos utilizados, tanto para perda potencial de solo por erosão quanto para o balanço hídrico climatológico, apesar de apresentarem resultados satisfatórios, ainda necessitam de incorporação de variáveis meteorológicas, pela robustez dos modelos. A variabilidade espacial encontrada na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS, por ser de grande extensão territorial, pode apresentar fragilidades pela incerteza das informações na aplicação do modelo. A presença de poucas estações meteorológicas e a distribuição das mesmas fazem também com que o modelo não seja tão eficaz. Os custos envolvidos na instalação de estações climatológicas justificam a eficiência dos modelos e da utilização dos mesmos no planejamento ambiental, visto que planejamento envolve custos.

Portanto, o uso das ferramentas para planejamento utilizada nesta pesquisa é capaz de apontar áreas de criticidade e ainda apontar qual dos fatores têm maior influência para determinar a criticidade da área de estudo.

Observa-se, com a finalização desta pesquisa, que a Gestão Ambiental carece de um conjunto de áreas integradas que faça parte de uma política mais ampla, sendo necessário propiciar um rumo mais convergente para a implantação de um projeto de desenvolvimento sustentável, primeiramente a nível de bacias hidrográficas, com objetivos claros de um desenvolvimento econômico baseado na melhoria progressiva das condições sociais e a adoção de políticas de preservação, conservação e recuperação ambiental, tendo como premissa a implementação de zoneamentos nos Estados.

## **6.2 RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se utilizar maior número de estações (caso haja disponibilidade) para melhorar a eficiência do modelo, assim como aplicar o modelo para dados



diários. Para os dados utilizados neste trabalho, é possível gerar um balanço hídrico climatológico mensal para cada ano, fazendo-se assim uma melhor estimativa e identificando os anos de déficit hídrico, assim como os anos de excedente hídrico.

Recomenda-se também que mais estudos de planejamento sejam feitos, analisando outras variáveis integradas, que priorizam a utilização racional e preservação dos recursos naturais, principalmente solo e água, com fins agrícolas e florestais. Para tal, deve ser considerada a capacidade de uso dos solos ou classes de aptidão do uso das terras, buscando estabelecer de modo integrado o uso do solo e as formas de utilização consideradas mais adequadas em função da capacidade do meio. A análise de outras variáveis, em conjunto com as já analisadas, permitem uma análise multicritério de planejamento.

## 7 REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n. 3, p. 519-531, maio/jun. 2004.

ALBERTO, Cleber Maus et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1067-1075, 2006.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. **Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

AMARAL, André Julio do et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. **Revista brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 32, n. 5 (set./out. 2008), p. 2145-2155**, 2008.

ANDERSON, H. W. et al. **Forests and water: effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply**. 1976. 121p.

ANDREOLA, Faustino; FERNANDES, Silvana Aparecida Pavan. A microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**, p. 21, 2007.

ARRAES, C. L.; PAES BUENO, C. R.; TARLE PISSARRA, T. C. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, p. 849-857, 2010.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

BARRETO, P. N.; SILVA R. B. C.; SOUZA, W. S.; COSTA, G. B.; NUNES, H. G. G. C.; SOUSA, B. S. B. Análise do balanço hídrico durante eventos extremos para áreas de floresta tropical de terra firme da Amazônia Oriental. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2009, Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte.

BAZZANO, Marcos Gabriel Peñalva; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; CASSOL, Elemer Antonino. Erosivity and hydrological characteristics of rainfalls in Rio Grande (RS, Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 235-244, 2010.  
BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, Ed.7, p. 355, 2010.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6 p. 581-588, jun. 2004.

BEZERRA, Sandro Augusto; BARROS CANTALICE, José Ramon. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, 2006.

BLOWERS, A (ed). Planning for a sustainable environment. A report by the town and country planning association. Ed. Earthscan Publ. Ltd., London, 1993.

BROWN, J. C. **Forest and Moisture; Or Effects of Forests on Humidity of Climate**. London, Simpkin, Marshall. 1877.

BURIOL, Galileo A.; ESTEFANEL, Valduino; FERREIRA, Mário. Estimativa da evapotranspiração potencial mensal e anual do estado do Rio Grande do Sul em função da altitude, latitude e longitude. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 5, n. 3, 2008.

CAMARGO, A.P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 28p.

CARNEIRO, Henrique S. Comida e sociedade: significados sociais na história da alimentação. **História: Questões & Debates**, v. 42, n. 1, 2005.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro, 1994, Brasil, 372 p.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2002.

CARVALHO, H. P. et al. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **BioscienceJournal.**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 221-229, 2011.

CASSOL, E.A.; MARTINS, D.; ELTZ, F.L.F.; LIMA, V.S.; BUENO, A.C. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1933. **Revista de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, p.220-231,2007.

CASTRO A.G.; VALÉRIO FILHO M. Simulação da Expectativa de Perdas de Solo em Microbacia sob diferentes Manejos Florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 21: p. 419-426, 1997.

CASTRO, P. S. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) ESALQ, Piracicaba, SP, 1980.

CECÍLIO, Roberto Avelino et al. Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 478-488, 2012.

CEMIN, G., PÉRICO, E., SCHNEIDER, V. E., & FINOTTI, A. R. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do arroio Marrecas, RS, Brasil. **Scientia Plena**, v. 9, n. 1, 2013.

CENTURION, MAP da C.; GHINI, Raquel. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças e o desenvolvimento da soja no Brasil. **Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2008.

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**, v.27, p.743-753, 2003.

CONSENSA, C. B. **Precipitação pluviométrica e interna de Eucalyptus spp. Em Rosário do Sul, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. RS. 2012.

COSTA, Oldair Vinhas et al. Cobertura do solo e degradação de pastagens em área de domínio de Chernossolos no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, 2000.

COSTA, T. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZÉ DA, M. C. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 78).

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and aorganic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 2-76, 1992.

CRUZ, J. C., NUMMER, A. V.; ELTZ, F. L. F.; SILVA, J. L. S.; ARAUJO, T. A. Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, p. 223-233, jan./mar. 2013.

CUNHA, Henrique Noguez da. **Avaliação da suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Alto Camaquã-RS**. 2016. 112 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

DA CUNHA, Antonio Ribeiro; MARTINS, Dinival. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 01, 2009.

D'ANGIOLELLA G.; DA SILVA, J. de F. **BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DO BRASIL**. 2004.

D'ANGIOLELLA, Gustavo; VASCONCELLOS, Vânia Lúcia Dias; ROSA, José Wilson Corrêa. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. **Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 83-90, 2005.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, LG de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.

DA SILVA, Mayesse A. et al. Sistema de informações geográficas no planejamento de uso do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, 2013.

DE MELLO, Gláucia; BUENO, Célia RP; PEREIRA, Gener T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 315-322, 2006.

DE PAULA LIMA, W. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Universidade de São Paulo, 2008.

DIDONÉ, E. J. **Erosão Bruta e Produção de Sedimentos em Bacia Hidrográfica sob Plantio Direto no Planalto do Rio Grande do Sul**. 2013. 228 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1999. 412p.

DOS SANTOS PEREIRA, L.; RODRIGUES, A. M. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano (Management Systems of Minimum and Conventional Tillage: Temporal Analysis of the Soil Hydrological). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 6, p. 1658-1672, 2014.

DE SOUZA, J. L. M.; GOMES, S. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo= Limitations in the use of a ten-day water balance model, based on available water capacity in the soil. **Acta Scientiarum: Agronomy**, 2008.

FARINASSO, M. **Avaliação qualitativa do potencial erosivo em grandes áreas por meio da EUPS (Equação Universal de Perdas de Solos) utilizando novas metodologias de SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba - PI**. 2005.105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Instituto de Ciências Humanas, Brasília, 2005.

FENDRICH, Roberto. Chuva e produtividade da soja na Fazenda experimental gralha azul da PUCPR. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2017.

FENNER, William et al. Análise do balanço hídrico mensal para regiões de transição de Cerrado-Floresta e Pantanal, Estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 1, p. 72-85, 2014.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo, In: LIER, Q. de J. van. **Física do solo**, Viçosa: SBCS, p.1-28. 2010.

FIORILLO, C. A. P.; RODRIGUES, M. A. **Direito Ambiental e Patrimônio Genético**. Belo Horizonte: Del Rey, 1996.

GALDINO, Sérgio; WEILL, Mara de Andrade Marinho. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para a bacia do Alto Taquari–MS/MT. **III Símpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 260-269, 2010.

GARCEZ, L.N., ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2. Ed. rev. E atual. – São Paulo: Blucher, 1988.

GUADAGNIN, Jean Cláudio et al. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, 2005.

GUIMARÃES, Rafael Zoboli et al. Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

HOYT, W. G & H.C. TROXELL. **Forests and Streamflow**. Proc. Amer. SOc. Civil Engineers, 56: 1037-1066. 1932.

HUDSON, NW. **Conservação do solo**. Ithaca, Cornell University. Press, 1977. 320p.

**IBGE**. Banco de dados agregados. [Online]. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 02/11/16.

ILKIU, R. V. **Aproveitamento de água pluvial em aviário**. Foz do Iguaçu – PR. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – União Dinâmica de Faculdade Cataratas. 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p 857-867. Out./dez. 2002.

KUINCHTNER, Angélica; BURIOL, Galileo Adeli. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2016.

LIMA, V.S.; CASSOL, E.A.; SEVERO, M.D.A. **Determinação da erosividade das chuvas nos municípios de Ijuí e São Borja, RS, no período de 1982-1991**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4., Porto Alegre, 1992. Resumos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. v.1, p.185.

LIMA, V.C.; LIMA, M.R. **Importância de estudar o solo**. In: Solos para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba: UFPR, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2004.

LINO, J.S. **Evolução do sistema plantio direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul**. 2010. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. Piracicaba, SP, 2010.

MACHADO, Walquíria; STIPP, Nilza Aparecida Freres. Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados-PR. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 12, n. 2, p. 57-86, 2010.

MAGALHÃES FILHO, Fernando Jorge Corrêa; AYRES, Fabio Martins; SOBRINHO, Teodorico Alves. Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental. **Agrarian**, v. 7, n. 26, p. 552-559, 2014.

MANNIGEL, A. R.; DE PASSOS, M.; MORETI, D.; DA ROSA MEDEIROS, L. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, p. 1335-1340, 2008.

MARCONDES, Carlos Renato. Estudo de descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. **BR Itajubá: UNIFEI**, 2011.

MARSH, G.P. **The Earth as Modified by Human Action**. New York: Scribner. 1907.

MARTINS, Daniela et al. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Hulha Negra, Rio Grande do Sul, Brasil, com base no período de 1956 a 1984. **Pesq. Agropec. Gaúcha**, v. 15, p. 29-38, 2009.

MELLONI et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. V.32, n. 6, p. 2461-2470, nov./dez. 2008.

MÉNDEZ, E. **Planificación y gestión ambiental para el desarrollo sostenible**. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Mérida, Venezuela, 1999, 131p.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A Dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 963-969, mai./jun. 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Cartas de vegetação PROBIO (MMA)**. Brasília: PROBIO/MMA, 2007. (Mapa digital). Disponível em <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>. Acesso em 05 junho 2017.

MONTAÑO, M. (2005). **A aplicação conjunta de método de projeção das alterações no uso e ocupação do solo e de instrumentos de política ambiental: o caso do município de São Carlos (SP)**. Tese de doutorado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2005.

MONTAÑO, M.; OLIVEIRA, I. D.; RANIERI, V. E. L.; SOUZA, M. P. A necessidade de incorporação do Zoneamento Ambiental como instrumento de planejamento e gestão territorial urbana. In: International Congress on Environmental Planning and Management, 2005, Brasília. Proceedings. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2005. p. 1 – 22.

MONTAÑO, M., OLIVEIRA, I. S. D. D., RANIERI, V. E. L., FONTES, A. T., & SOUZA, M. P. D. O Zoneamento Ambiental e a sua Importância para a Localização de Atividades. **Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**, n. 6, p. 49-64, 2007.

MONTEBELO, Letícia Ayres et al. Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, p. 3829-3836, 2005.

MONTEIRO, R. N. F. et al. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o Município de Groaíras-CE. In: **Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina. As oportunidades de empreendedorismo na agricultura irrigada: anais. Petrolina: ABID, 2011., 2011.

MORGAN, ROY, P. C. **Erosion y Conservacion de Suelos**. S, A. Mundi-Prensa Libros, 1997.

NETO, R. M. C. **USO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA SUBSIDIAR TOMADAS DE DECISÃO QUANTO AO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, p. 90. 2011.

NIED, Astor Henrique et al. Épocas de semeadura do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005.

OLIVEIRA, I.S.D. (2004). **A contribuição do zoneamento ecológico econômico na avaliação de impacto ambiental: bases e propostas conceituais. 2004**. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

OLIVEIRA, Victoria Christina Vilela. **Suscetibilidade e risco à erosão laminar no setor sul do alto curso da Bacia do Rio Araguaia (GO/MT): discussão metodológica e proposta de avaliação espacial. 2004**.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001, 625p.

PEIXOTO, Jailson de Souza. **Estimativa das perdas de solo e do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica no entorno da cidade de Santo Amaro da Purificação, Bahia. 2014**. 89 P. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002, 478p.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, H. C. **Land Use and water Resources**. Cambridge University Press. 1973.



PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. de. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**. v.7, n.3, p.423-429, 2003.

PIMENTEL, Carlos. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 2004.  
SOUZA, Adilson Pacheco et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

PINHEIRO, Adilson; POETA TEIXEIRA, Lizandra; KAUFMANN, Vander. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 2, 2009.

PIRES, L. S., SILVA, M. L. N., CURI, N., LEITE, F. P., & BRITO, L. D. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006.

PIROLI, Edson Luís et al. Geographic Information System and satellite image to analyse the Arroio do Meio microbasin land use-Santa Maria-RS. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 407-413, 2002.

POLETTINI NETO, Alexandre. **A influência de variáveis ambientais na distribuição e abundância de *Brachycephalus ephippium* na Serra do Japi, Jundiaí, São Paulo**. 2013.

PORTO, M. FA; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PREVEDELLO, J. Dinâmica do armazenamento e da disponibilidade de água em argissolo sob eucalipto e campo nativo. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. RS. 2012.

PRUSKI, F.F.; AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; GRIEBELER, N.P.; SILVA, J.M.A. **Conservação de solo e água: praticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 240 p.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python Language Reference**. Versão 2.7. Disponível em: <<http://www.python.org>>. Acesso em: Julho, 2017.

RANIERI, V. E. L. **Discussão das potencialidades e restrições do meio como subsídio para o Zoneamento Ambiental: o caso do município de Descalvado (SP)**. 2000. 87 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

RANIERI, V. E. L.; MONTAÑO, M.; FONTES, A. T.; OLIVEIRA, I. D.; SOUZA, M. P. O Zoneamento Ambiental como instrumento de política e gestão ambiental. In:

ESPÍNDOLA, E. L. G.; WENDLAND, E. (Orgs.). PPG-SEA: **Trajetórias e perspectivas de um curso multidisciplinar**. São Carlos: Rima, 2005. v.4, p.109-136.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. Fundação Cargil. 286 p. 1975.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.  
REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e ambiente**, Santa Maria, v. 27, n.1, p. 29-48, jul./dez. 2003.

RICHART, Alfredo et al. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, 2005.

RODRIGUEZ, J. M.M.; SILVA, E.V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2001. 145p. (INPE-8915-TDI/809).

RUFINO, R.L., BISCAIA, R.C.M., MERTEN, G.H., 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. n.17, p. 439– 444.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina. DF: Embrapa Cerrados. 2005. 24 p.  
SANCHEZ, R. O.; SILVA, T. C. **Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem**. In: Zoneamento ambiental: uma estratégia de ordenamento da paisagem. IBGE, 1995.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**. Oficina de Textos, 2015.

SANTOS, Glenio G.; GRIEBELER, Nori P.; DE OLIVEIRA, Luiz FC. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 2, 2010.

SANTOS, Gilmar Oliveira; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino; ROSSETTI, José Carlos. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **REVISTA BRASILEIRA DE AGRICULTURA IRRIGADA-RBAI**, v. 4, n. 3, 2013.

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Bases dos Estudos de Fauna, Flora e Recursos Hídricos**. 3 vol. Porto Alegre: SEMA, 2010. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/silvicultura/BasesEstudos\\_Fauna\\_Flora\\_RH.zip](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/silvicultura/BasesEstudos_Fauna_Flora_RH.zip)  
Acesso em: 17 jun. 2017.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 138 p.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, mai./ago., 2004.

SILVA, A. D., SILVA, M. L. N., CURI, N., LIMA, J. D., AVANZI, J. C., & FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, Karlos W. N. **Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho amarelo utilizando simulador de chuva**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, maio/ago. 2005.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica**. In TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.

SOPPER, W. E & LULL, H. W. **International Symposium on Forest Hydrology**. Pergamon Press. 1967.

SOUZA, M. P. **Instrumentos de gestão ambiental: fundamentos e prática**. São Carlos: Riani Costa, 2000.

SOUZA, M. P. As bases legais e os Zoneamentos Ambientais. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá. **Anais eletrônicos**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/cd/pdf/palestra8.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

STEIN, D. P., DONZELLI, P. L, GIMENEZ, A. F., PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 3., 1987, Marília. **Anais...** ABGE/DAEE, 1987. v.1, p. 105-135.

STRECK, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed., Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

STRECK, Nereu Augusto; ALBERTO, Cleber Maus. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 424-433, 2006.

SUSTENTÁVEL, PROJETO DE CONSERVAÇÃO E UTILIZAÇÃO; DA DIVERSIDADE, BIOLÓGICA BRASILEIRO-PROBIO. Ministério do Meio Ambiente. **Consórcio ZEE Brasil**.

THORNES, J.B. (1990): The Interaction of Erosional and Vegetational Dynamics in Land Degradation: Spatial Outcomes. In: Thornes, J.B. (ed.) *Vegetation and Erosion*. John Wiley and Sons, pp. 41- 53.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p. 573-581. 1998.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Universidade/UFRGS. ABRH, 1997. 946 p.

TUCCI, Carlos EM; HESPANHOL, Ivanildo; NETTO, Oscar de M. Cordeiro. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”. **Interações**, v. 1980, p. 90, 2003.

TUNDISI, J. G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. *Ciência e Cultura*, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. Oficina de textos, 2016.

UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Metodologia para Iniciar a Implantação de Outorga em Bacias Carentes de Dados de Disponibilidade e Demanda – IOGA – Bacia do Rio Ibicuí**. 1 vol. Relatório Técnico Final. Convênio FINEP/CT-Hidro/FATEC/HDS-UFSM. Santa Maria: UFSM, 2005. 127 p.

YAMADA, Eliane Seiko Maffi. **Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VALLE JÚNIOR, R. F. D., GALBIATTI, J. A., MARTINS FILHO, M. V., & PISSARRA, T. C. **Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba**. *Engenharia Agrícola*, p. 897-908, 2010.

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. J. Computing the ls factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 1043-1053, 2004.

VANZELA, Luiz et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 1, 2010.

WAGNER, Saionara Araujo; MARQUES, Flávia Charão; MENASCHE, Renata. Agricultura familiar à mesa. **A agricultura familiar à mesa: saberes e práticas da alimentação no Vale do Taquari**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 33-45, 2007.

WALTON, W. C. **The World of Water**. Taplinger Publishing Co. New York. 318 p. 1970.

WEILER, Elenice Broetto, **Indicadores de perda de solo espacializados como ferramenta de apoio à decisão para gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas**. 2017. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 801-814, 2008.

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