

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**Elzon Cassio Rippel**

**UTILIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA OBTIDA POR  
SENSORIAMENTO REMOTO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Santa Maria, RS  
2020

**Elzon Cassio Rippel**

**UTILIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA OBTIDA POR  
SENSORIAMENTO REMOTO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli

Co-orientador: Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos

Santa Maria, RS  
2020

Rippel, Elzon Cassio  
UTILIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA OBTIDA POR  
SENSORIAMENTO REMOTO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA / Elzon  
Cassio Rippel.- 2020.  
91 p.; 30 cm

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli  
Coorientador: Danilo Rheinheimer dos Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, RS, 2020

1. Índice de Vegetação 2. SWAT 3. Curve Number 4.  
Hidrologia 5. Geoprocessamento I. Allasia Piccilli,  
Daniel Gustavo II. Rheinheimer dos Santos, Danilo III.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.


Declaro, ELZON CASSIO RIPPEL, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

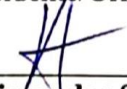
**Elzon Cassio Rippel**

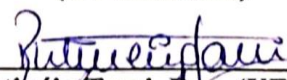
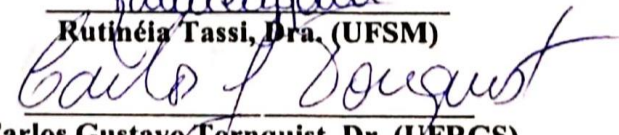
**UTILIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO OBTIDO POR  
SENSORIAMENTO REMOTO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

**Aprovado em fevereiro de 2020**

  
\_\_\_\_\_  
**Daniel Gustavo Allasia Picilli, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Danilo Rheinheimer dos Santos, Dr. (UFSM)**  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Rutinéia Tassi, Dra. (UFSM)**  
  
\_\_\_\_\_  
**Carlos Gustavo Tornquist, Dr. (UFRGS)**

Santa Maria, RS  
2020

*“Motivation comes from working on things we care about.  
It also comes from working with people we care about.”*

Sheryl Sandberg

## RESUMO

### UTILIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA OBTIDA POR SENSORIAMENTO REMOTO NA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Autor: Elzon Cassio Rippel  
Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli  
Coorientador: Danilo Rheinheimer dos Santos

Nas últimas décadas os eventos extremos de chuva e de vazão aumentaram significativamente em decorrência das mudanças climáticas e das alterações antropogênicas em nível global. Vários autores reportaram a influência das mudanças de uso e ocupação da terra (*LULC*) neste cenário. Todavia, os efeitos do *LULC* nos mecanismos que governam o processo de geração de escoamento, principalmente em bacias hidrográficas, ainda não estão totalmente elucidados. Para o melhor entendimento desses fenômenos, o uso de modelos hidrológicos aliados a ferramentas como o sensoriamento remoto tem sido utilizado por pesquisadores para descrever os processos hidrológicos das bacias. Um destaque tem sido a utilização de informações obtidas a partir de índices de vegetação como o EVI2 (*Enhanced Vegetation Index - 2*), obtido a partir do produto MOD13. Esse satélite fornece uma imagem com resolução espacial de 250 m para toda a superfície da Terra, com uma resolução temporal de 16 dias, que é usado em aplicações que descrevem os atributos da cobertura vegetal do solo. Utilizando informações de EVI2, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a viabilidade de uso da informação do EVI2 para aprimorar a parametrização espaço-temporal do método NCRS-CN e do modelo SWAT, na simulação da geração de escoamento de duas bacias hidrográficas rurais, denominadas WS80 (0.8 km<sup>2</sup>) e WS140 (1.39 km<sup>2</sup>), localizadas no município de Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul – Brasil. As informações de EVI2 foram utilizadas para descrever o *LULC*. As simulações utilizaram dados monitorados de chuva-vazão entre 2010 e 2012, sendo empregado os modelos Curve Number (CN-NRCS) e *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Para o método CN-NRCS os resultados demonstraram que houve correlação entre o parâmetro de abstração inicial (*Ia*) e as variações de *LULC* descritas pelo índice de vegetação EVI2, sendo possível utilizar o método CN-NRCS com taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) observada (variável) obtendo-se a *Ia* via EVI2, o desempenho desta abordagem foi superior as tradicionais, com  $\lambda$  fixo, na simulação do escoamento total nos eventos de chuva das bacias. O modelo SWAT pode simular a vazão de bacias sem dados, quando descritas as rotações de cultura observadas pelo EVI2 e configurado com os parâmetros de uma bacia vizinha (doadora). O EVI2 demonstrou potencial, seja como ferramenta exploratória ou de pesquisa, contribuindo para a compreensão dos processos hidrológicos que comandam a geração de escoamento das duas bacias.

**Palavras-chave:** Índice de vegetação, SWAT, Curve Number

## ABSTRACT

### APPLICATIONS OF LAND USE AND LAND COVER REMOTE SENSING FOR HYDROLOGIC MODELING

Author: Elzon Cassio Rippel  
Advisor: Daniel Gustavo Allasia Picilli  
Co-advisor: Danilo Rheinheimer dos Santos

In recent decades, extreme rainfall-runoff events have increased significantly as a result of climate change and anthropogenic impacts at the global scale. Several authors have reported the influence of land use and land cover (LULC) in this scenario. However, the effects of LULC on the mechanisms that govern the flow generation process, especially in watersheds, are not yet fully understood. The use of hydrological modeling with tools such as remote sensing has been used by researchers to describe the hydrological processes in the catchments. A highlight has been the information obtained from vegetation indexes such as the Enhanced Vegetation Index (EVI2), from the product MOD13. This satellite provides an image with a spatial resolution of 250 m, with a temporal resolution of 16 days, used in applications that describes the vegetations parameter. Using EVI2 information, this work aimed to evaluate the feasibility of using EVI2 information to improve the space-time parameterization of the NCRS-CN method and the SWAT model, in the simulation of the flow generation of two rural watersheds, called WS80 (0.8 km<sup>2</sup>) and WS140 (1.39 km<sup>2</sup>), located in the municipality of Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul - Brazil. The simulations used monitored rain-runoff data between 2010 and 2012, using the Curve Number (CN-NRCS) and Soil and Water Assessment Tool (SWAT) models. For the CN-NRCS method, the results showed that there was a correlation between the initial abstraction parameter (Ia) and the LULC variations described by the EVI2 vegetation index, being possible to use the CN-NRCS method with initial abstraction ratio ( $\lambda$ ) (variable) by obtaining Ia via EVI2, the performance of this approach was superior to the traditional ones, with  $\lambda$  fixed, in the simulation of the total runoff in the basin rain events. The SWAT model can simulate the flow when no data was available to watersheds, when the rotations crop observed by EVI2 are described and the model setup with the parameters of a neighboring basin (donor). EVI2 demonstrated potential, either as an exploratory or research tool, contributing to the understanding of the behavioral hydrological processes of runoff generation from the two watersheds.

Keyword: Vegetation index, SWAT, Curve Number

## LISTA DE FIGURAS

<b>ARTIGO 1.....</b>	<b>17</b>
Figura 1 - Localização das bacias em estudo, altimetria (ALOS Data Consortium - 12.5 m), hidrografia e estações de hidrometeorológicas das bacias WS80 e WS140. ....	23
Figura 2 - Distribuição espacial dos usos dos solos, média dos anos 2010 a 2012, das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B). ....	25
Figura 3 - Distribuição espacial dos grupos texturais dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 (A) e WS140 (B). ....	26
Figura 4 - Variáveis hidrológicas analisadas nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos - Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140. ....	27
Figura 5 - Série de EVI2 e precipitação de 2010 a 2012 nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140. ....	30
Figura 6 - Dispersão da <i>Ia</i> nos eventos de WS80 e WS140 nas três AMC's. Médias consideradas idênticas ao nível de 5 % de significância do <i>f-test</i> . ....	33
Figura 7 - Média da série de EVI2 e a <i>Ia</i> observada nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140. ....	34
Figura 8 - <i>Ia</i> observada <i>versus</i> <i>Ia</i> estimada nas duas bacias hidrográficas a partir das equações 16 e 17 em função do índice de vegetação EVI2 Nas bacias WS80 e WS140. ....	35
Figura 9 - Relação entre precipitação e taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) obtidos nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil (WS80 e WS140). ....	37
Figura 10- Ajuste gráfico do parâmetro CN observado nas bacias WS140 [(a), (c), (e) e (g)] e WS80 [(b), (d), (f) e (h)] em função da precipitação. CN-obs: CN observado no evento; CNo: limite de geração de escoamento em função da precipitação. ....	39
Figura 11 - Ajuste gráfico do volume de escoamento direto e estimada pelas quatro abordagens do método CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ , $\lambda = 0.05$ , $\lambda$ variável e $\lambda$ (EVI2)) para as bacias hidrográficas WS140 (a) e WS80 (b) considerando a média dos CN observados nos eventos, e (c) e (d) para a mediana respectivamente. ....	41
Figura 12 – Ajuste gráfico do volume de escoamento direto observado e estimada pelos três métodos ( $\lambda = 0.2$ , $\lambda = 0.05$ e $\lambda$ (EVI2)) para as bacias hidrográficas WS140 (a) e WS80 (b) considerando a média dos CN observados nos eventos, e (c) e (d) para a mediana respectivamente. ....	44
<b>ARTIGO 2.....</b>	<b>57</b>
Figura 1- Localização das bacias em estudo, altimetria (ALOS Data Consortium - 12.5 m), hidrografia e estações de hidrometeorológicas das bacias WS80 e WS140. ....	56
Figura 2 - Cenários de descrição dos dados de entrada do modelo SWAT para as bacias WS80 e WS140. ....	57
Figura 3 - Distribuição espacial dos grupos texturais dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 (A) e WS140 (B). ....	60



Figura 4 - Distribuição espacial dos usos dos solos, média dos anos 2010 a 2012, das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B).....	61
Figura 5 - Série de EVI2 e precipitação de 2010 a 2012 das duas bacias (WS140 e WS80) monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	62
Figura 6 - Vazão simulada usando o modelo SWAT com parâmetros calibrados das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.....	67
Figura 7 - Curvas de permanência de vazões observadas e simuladas no cenário $L_F S_F$ usando parâmetros calibrados no modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	69
Figura 8 - Vazão simulada usando o modelo SWAT com parâmetros transferidos das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	70
Figura 9 - Curvas de Permanência de vazões observadas e simuladas no cenário $L_F S_F$ usando parâmetros transferidos no modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>ARTIGO 1.....</b>	<b>17</b>
Tabela 1 - Principais usos da terra, média dos anos 2010 a 2012, nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B). ....	24
Tabela 2 - Parâmetros físicos dos solos da camada 0,00-0,15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	26
Tabela 3 - Resumo dos resultados da análise dos eventos (186 eventos de chuva $\geq 10$ mm de P) nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.....	32
Tabela 4 - Resumo dos resultados dos valores de $\lambda$ observados nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.....	36
Tabela 5 - Resumo dos resultados da média aritmética dos CN e avaliação dos resultados das quarto abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ , $\lambda = 0.05$ , $\lambda$ variável e $\lambda$ (EVI2)) na estimativa do volume de escoamento direto. NSE: Nash-Sutcliffe coefficient; R <sup>2</sup> : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; *SD: Standard deviation.....	37
Tabela 6 - Resumo dos resultados da mediana dos CNs e avaliação dos resultados das quarto abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ , $\lambda = 0.05$ , $\lambda$ variável e $\lambda$ (EVI2)) na estimativa do volume de escoamento direto. NSE: Nash-Sutcliffe coefficient; R <sup>2</sup> : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; *SD: Standard deviation. ....	38
Tabela 7 – Resumo dos resultados do CN transferido da bacia vizinha obtido pela média aritmética e pela mediana e avaliação dos resultados das quarto abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ , $\lambda = 0.05$ e $\lambda$ (EVI2)). NSE: Nash-Sutcliffe coefficient; R <sup>2</sup> : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; *SD: Standard deviation.....	43
<b>ARTIGO 2.....</b>	<b>57</b>
Tabela 1 - Parâmetros físicos da classe de solo utilizado no cenário grosseiro (sufixo $S_c$ ) nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	59
Tabela 2 - Parâmetros físicos dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	59
Tabela 3 - Principais usos da terra, média dos anos 2010 a 2012, nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B). ....	60
Tabela 4 - Descrição e intervalos iniciais dos parâmetros utilizados na calibração do modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	64
Tabela 5 - Parâmetros ajustados ajuste do modelo SWAT no cenário $L_C S_C$ das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	73
Tabela 6 - Parâmetros responsáveis pelo ajuste do modelo SWAT no cenário $L_C S_F$ das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.....	74
Tabela 7 - Parâmetros responsáveis pelo ajuste do modelo SWAT no cenário $L_F S_C$ das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.....	75

Tabela 8 - Parâmetros responsáveis pelo melhor ajuste do modelo SWAT no cenário $LFSF$ das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	76
Tabela 9 - Desempenho do modelo SWAT nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. ....	78

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1. OBJETIVOS GERAIS .....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3. ARTIGO 1 – TAXA DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CN-NRCS E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO OBTIDO POR SENSORIAMENTO REMOTO</b> .....	<b>17</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2 METODOLOGIA.....	22
<b>3.2.1 Área de estudo</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.2 Análise dos eventos</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.3 Dados de sensoriamento remoto</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2.4 Calibração do parâmetro CN e estimativa do escoamento direto para uma condição sem dados</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2.5 Avaliação dos resultados</b> .....	<b>30</b>
3.3 RESULTADOS .....	32
<b>3.3.1 Análise dos eventos</b> .....	<b>32</b>
3.3.1.1 <i>Abstração inicial observada nos eventos de chuva-vazão</i> .....	32
3.3.1.2 <i>Efeitos das mudanças de uso e ocupação da terra na abstração inicial</i> .....	34
<b>3.3.2 Influência do <math>\lambda</math> na estimativa do escoamento superficial</b> .....	<b>36</b>
3.3.2.1 <i>Valores de <math>\lambda</math> e CN ajustados nos eventos</i> .....	36
3.3.2.1 <i>Desempenho do método CN-NRCS sob condições de dados limitados</i> .....	42
3.4 CONCLUSÕES .....	45
<b>4. ARTIGO 2 – EFEITOS DA QUALIDADE DE INFORMAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM A TRANSFERÊNCIA DE PARÂMETROS DO MODELO SWAT ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS.</b> .....	<b>52</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	52
<b>4.2.1 Área de estudo</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2.2 Escala qualitativa de informação</b> .....	<b>57</b>
4.2.2.1 <i>Dados de caracterização do solo</i> .....	58
4.2.2.2 <i>Dados de uso e ocupação do solo</i> .....	60
<b>4.2.3 Configuração do Modelo hidrológico</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2.4 Transferência de Informações</b> .....	<b>65</b>
<b>4.2.5 Incertezas e Sensibilidade do Modelo</b> .....	<b>65</b>
<b>4.2.6 Avaliação de performance do modelo</b> .....	<b>66</b>
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
<b>4.3.1 Calibração de parâmetros do modelo SWAT</b> .....	<b>67</b>
<b>4.3.2 Transferência de parâmetros do modelo SWAT (verificação)</b> .....	<b>69</b>
<b>4.3.3 Resultados dos indicadores estatísticos</b> .....	<b>77</b>
4.4 CONCLUSÕES .....	79
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	<b>87</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>89</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os eventos extremos de chuva e de vazão aumentaram significativamente, em decorrência das mudanças climáticas e das alterações antropogênicas. Como resultado, a geração de escoamento tem acarretado danos ambientais (alterações do balanço hídrico, perda de solo e nutrientes), sociais (fatalidades e desalojamento de pessoas) e econômicos (prejuízos na agricultura e na infraestrutura das cidades) em praticamente todas as regiões do mundo (PAPROTNY *et al.*, 2018; ROXY; GHOSH; PATHAK, 2015; YIN *et al.*, 2018; ZUAZO; PLEGUEZUELO, 2008).

Esta tendência de aumento da frequência de eventos extremos de vazão, relativo às alterações antropogênicas, é atribuída principalmente às mudanças de uso e ocupação da terra (*Land User Land Cover - LULC*), onde a vegetação natural é substituída principalmente pela urbanização, e por áreas agrícolas para produção de alimento e matéria prima (FOLEY *et al.*, 2005; YIN *et al.*, 2018). Em 2008, as áreas ocupadas pela humanidade já haviam alcançado 41% de toda a superfície terrestre, com uma proporção de ocupação superior a 90% nas áreas que havia pastagens naturais, onde a implantação da agricultura foi mais intensa (STERLING; DUCHARNE, 2008).

Em nível global os efeitos das mudanças de *LULC* no balanço hídrico são investigados principalmente sobre a evapotranspiração e a geração de escoamento, sendo neste último relatado um efeito sobre as variações na ordem de até 50% para o *LULC*, fazendo frente às mudanças climáticas em questão de impacto sobre o balanço hídrico em determinadas bacias hidrográficas (PIAO *et al.*, 2007; STERLING; DUCHARNE; POLCHER, 2013). Para a escala de bacia hidrográfica os estudos que investigam os efeitos das alterações de *LULC* abrangem praticamente todos os componentes do balanço hidrológico. Em bacias rurais por exemplo, são relatados trabalhos comparando condições da bacia antes e depois da intervenção humana, demonstrando os efeitos do deflorestamento e da agricultura intensiva, todavia é comum estes trabalhos utilizarem uma escala temporal superior a 10 anos para a descrição do *LULC* (DESHMUKH *et al.*, 2013; GITHUI; MUTUA; BAUWENS, 2009; WANG; KALIN, 2011; YIN *et al.*, 2017), o que mascara as variações sazonais da cobertura do solo impostas pela rotação de cultura e o manejo de solo, aspectos fundamentais em áreas de agricultura intensiva.

A área agrícola da região subtropical brasileira é um exemplo de região com exploração intensiva na agricultura. Durante o verão são predominantes as culturas de soja e milho (*Glycine max* e *Zea mays*), ao passo que no inverno predominam cereais (trigo - *Triticum aestivum*, cevada - *Hordeum vulgare* e aveia branca - *Avena sativa*). No entanto, a maior parte das terras cultivadas no verão permanece em pousio hibernar durante o inverno, com baixa cobertura do solo proporcionada pelo crescimento espontâneo do azevém (*Lolium multiflorum*) ou com sobressemeadura da aveia forrageira (*Avena strigosa*).

A inclusão de animais nestas áreas, principalmente o gado, induz a uma série de impactos negativos nos atributos físicos do solo como o aumento da densidade, diminuição da porosidade, da capacidade de retenção de água e taxa de infiltração (DE ANDRADE BONETTI *et al.*, 2019; DE MORAES *et al.*, 2014; FLORES *et al.*, 2007), que podem desencadear alterações significativas no processo de geração de escoamento das bacias hidrográficas (ALAOUI *et al.*, 2018). Este conjunto de interações são características que definem os processos hidrológicos das bacias, todavia são negligenciados, principalmente no que tange em sua representação em modelos hidrológicos.

O método NRCS-CN é um exemplo de modelo que tem a representação dos processos hidrológicos sintetizados. O NRCS-CN foi proposto pela agência americana *Soil Conservation Service - SCS* (1972) e trata-se de um modelo hidrológico empírico, concentrado, extensivamente utilizado para estimativa do escoamento superficial em pequenas bacias agrícolas, florestais e urbanas. O método incorpora o tipo de solo, o *LULC*, e a condição de umidade da bacia hidrográfica. Também é capaz de descrever a capacidade de retenção de precipitação da bacia antes do início da geração do escoamento, por meio do parâmetro de Abstração Inicial (*Ia*), o qual representa o somatório da interceptação, infiltração, evapotranspiração e o armazenamento na superfície do solo antes da geração do escoamento no exutório da bacia (NRCS 2004). Estes componentes do *Ia* são diretamente ligados ao *LULC* e variam entre as diferentes sucessões de culturas nas áreas agrícolas.

Por outro lado, tendo uma variabilidade muito alta, a utilização do *Ia* se dá através de uma simplificação, sendo que o método NRCS-CN considera originalmente (NRCS, 2004) que a relação da abstração inicial ( $\lambda$ ) equivale a 20 % do potencial de retenção máximo de água no solo (*S*), ou seja,  $\lambda = 0,2S$ . Todavia, vários autores já identificaram que a utilização de  $\lambda = 0,05S$  gera resultados mais satisfatórios (BALTAS *et al.*, 2007; HAWKINS *et al.*, 2009; WOODWARD *et al.*, 2004) mas, mesmo com esta melhoria o método perde a

representatividade do parâmetro, o que impossibilita a observação dos processos hidrológicos que o *Ia* descreve.

Mesmo com a demasiada simplicidade, o método NRCS-CN é utilizado por uma série de modelos hidrológicos mais sofisticados, podendo citar dentre outros, os modelos: *Agricultural Policy/Environmental Extender – APEX* (WILLIAMS *et al.*, 2008), *Storm Water Management Model – SWMM* (ROSSMAN, 2017), *Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System - HEC-HMS* (SCHARFFENBERG *et al.*, 2018), *Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS)* (YOUNG *et al.*, 1989) e o *Soil Water Assessment Tool - SWAT* (ARNOLD *et al.*, 2013), que invariavelmente utilizam o método NRCS-CN em sua concepção original ( $\lambda = 0.25$ ).

O modelo SWAT em específico, é um modelo hidrológico semi-distribuído baseado em processos físicos, elaborado junto ao *United States Department of Agriculture (USDA)*, *Agricultural Research Service (ARS)* no início da década de 1990 (ARNOLD *et al.*, 1998), com capacidade de prever os impactos oriundos do manejo da terra (produção de sedimentos e químicos agrícolas), sob os recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica (ARNOLD *et al.*, 2015). O modelo é capaz de simular todo manejo do solo e as rotações de cultura (ARABI *et al.*, 2008; PARAJULI *et al.*, 2013; MAREK *et al.*, 2016), contudo, ainda há uma lacuna de conhecimento acerca do efeito das variações sazonais de *LULC* sobre a geração de escoamento a nível de bacia hidrográfica e que poderiam melhorar a representação dos processos naturais nestes modelos.

Os trabalhos que incorporam estas variações de *LULC* usando o modelo SWAT, como os de Srinivasan *et al.*, (2010) e Dagneu *et al.*, (2019), utilizam bancos de dados de manejo e rotação de cultura, o que restringe a área de abrangência destes trabalhos aos locais onde estas informações estão disponíveis. A utilização de ferramentas como o sensoriamento remoto podem auxiliar na obtenção destas informações do manejo das culturas, principalmente através dos Índices de Vegetação (*IV*) como o *Enhanced Vegetation Index* de dois parâmetros (EVI2). O EVI2 se correlaciona bem com vários componentes da dinâmica do ecossistema, como índice de área foliar (*LAI*), biomassa, estrutura de dossel e a fração de radiação absorvida por fotossíntese (FREITAS *et al.*, 2011; HUETE *et al.*, 1988; JIANG *et al.*, 2008). O EVI2 também é menos sensível a cobertura das nuvens e humidade do ar, uma vantagem tanto em regiões temperadas como nos trópicos, em relação a outros índices de vegetação como o NDVI (HUETE *et al.*, 1988). O EVI2 descreve o comportamento espaço-temporal da

cobertura vegetal para todo o planeta, o que permite uma observação espacializada das variações sazonais do *LULC*, viabilizando observar/caracterizar em uma resolução superior os atributos de uso e ocupação da terra nas bacias.

Nos trabalhos que envolvem o uso de modelos hidrológicos em bacias sem dados de monitoramento, principalmente na regionalização de parâmetros e informações dos modelos, os processos hidrológicos responsáveis pelo comportamento do escoamento na bacia são observados e caracterizados através de atributos como a geomorfologia, o solo, o uso e ocupação da terra e as condições climáticas que a bacia hidrográfica está sujeita, tendo para cada escala uma necessidade diferente de descrição destes atributos (BLOSCHL; SIVAPALAN, 1995; RAZAVI; COULIBALY, 2013). A partir desta perspectiva, entender a maneira como a discretização da escala espacial e temporal dos dados de entrada dos modelo interferem na transferência de informação entre bacias próximas, pode ser a chave para o aumento da performance dos modelos hidrológicos.

Neste contexto, este trabalho objetiva gerar informações que possam contribuir com a utilização de modelos hidrológicos em bacias que não possuam dados monitorados de vazão, explorando as informações mínimas necessárias de discretização de solo e *LULC*. Inicialmente, no primeiro capítulo é apresentada uma nova abordagem para a utilização do método NCRS-CN, adicionando o efeito das mudanças de *LULC* observadas via sensoriamento remoto ao parâmetro *Ia*. O segundo capítulo incorpora a variação sazonal de *LULC* através dos dados obtidos por sensoriamento remoto, também é comparada a descrição espacial de alguns atributos físicos do solo, a fim de avaliar o efeito da qualidade destas informações na transferência do modelo para uma bacia sem dados. Como resultado é demonstrado a influência das variações de *LULC*, mesmo em períodos sazonais, na geração de escoamento das bacias, e como o modelo hidrológico SWAT através do parâmetro CN assimila essas informações.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVOS GERAIS

O objetivo principal deste estudo é avaliar a viabilidade de uso da informação do EVI2 para aprimorar a parametrização espaço-temporal do método NCRS-CN e do modelo SWAT, visando a aplicação em bacias sem monitoramento hidrológico.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a relação entre o parâmetro Abstração Inicial ( $I_a$ ) do método NCRS-CN e a variação sazonal de *LULC* nas bacias hidrográficas;
- Utilizar o índice de vegetação EVI2 para estimar a  $I_a$  dos eventos;
- Comparar as abordagens de utilização do método NCRS-CN em função do parâmetro  $\lambda$ ;
- Testar o desempenho do método NCRS-CN transferido para uma bacia sem dados;
- Calibrar o modelo SWAT para a geração de escoamento total em duas bacias hidrográficas pareadas sob diferentes escalas de informação de solo e *LULC*;
- Levantar critérios para a definição da qualidade mínima de descrição de solo e *LULC* necessários para um ajuste satisfatório do modelo SWAT;
- Verificar o desempenho da simulação da vazão utilizando a transposição geográfica dos parâmetros do modelo SWAT de uma bacia vizinha (*Proxy-basin test*).

### 3. ARTIGO 1 – TAXA DE ABSTRAÇÃO INICIAL DO MÉTODO CN-NRCS E SUA RELAÇÃO COM AS MUDANÇAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO OBTIDO POR SENSORIAMENTO REMOTO

#### Resumo

A Abstração Inicial ( $Ia$ ) do método Curve Number (CN-NRCS) é um parâmetro que representa principalmente a interceptação, evaporação, infiltração e armazenamento da água na superfície do solo durante o início de um evento chuva/vazão em uma bacia hidrográfica. Contudo, é um parâmetro extremamente variável no espaço/tempo, o que dificulta a estimativa da  $Ia$ , tendo o método CN-NRCS fixado a taxa de abstração inicial ( $\lambda = Ia/S$ ) como 20% da capacidade máxima de armazenamento  $S$ . A seleção de um  $\lambda$  apropriado é fundamental para a utilização do método CN-NRCS. Diferentes pesquisadores reavaliaram a seleção de  $\lambda = 0.2$ , com a maioria dos valores convergindo para  $\lambda = 0,05$ . Para tal, os objetivos deste estudo foram determinar a taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) em 186 eventos de duas bacias agrícolas do interior do Rio Grande do Sul - Brasil, avaliando a relação do parâmetro  $Ia$  com as variações sazonais do uso e ocupação da terra ( $LULC$ ) obtidos pelo índice de vegetação EVI2, comparar o desempenho do resultado da simulação do método CN-NRCS utilizando as abordagens de  $\lambda = 0,2$ ,  $\lambda = 0,05$ ,  $\lambda$  variável (observado) e  $\lambda$  (EVI2) variável com o  $Ia$  estimado com base no EVI2 através de eventos de chuva-vazão, também foi estimado o escoamento total das bacias em condições sem dados, transferindo os parâmetros obtidos na bacia vizinha. Os resultados demonstraram que a  $Ia$  variou entre 1,65 e 13,50 mm, enquanto que o  $\lambda$  ficou entre valores de 0,0008 e 0,5471. Foi possível estimar a  $Ia$  utilizando o EVI2 nas duas bacias, o que confirma a relação do parâmetro com as mudanças de  $LULC$ . Os melhores ajustes do método CN-NRCS para estimativa de escoamento direto foram utilizando  $\lambda$  variável. Para a transferência do parâmetro CN para outra bacia sem dados o melhor resultado também foi para  $\lambda$  variável com o  $Ia$  estimado pelo EVI2, demonstrando o potencial desta metodologia para futuras aplicações, sem a necessidade de adoção de um  $\lambda$  fixo.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O método CN-NRCS proposto pelo U.S. Natural Resources Conservation Service (NRCS) antigamente SCS (NRCS 1986, 2004; Soil Conservation Service Engineering Division 1972) é um modelo hidrológico empírico, utilizado para estimativa do escoamento direto (Escoamento superficial) para um determinado evento de chuva em pequenas bacias hidrográficas rurais, florestais e urbanas. O método é capaz de incorporar uma série de características da geração de escoamento das bacias: tipos de solo, mudanças de uso e ocupação da terra (*LULC* do inglês - *Land Use Land Cover*), condições hidrológicas e a condição de umidade antecedente (*AMC – Antecedent Moisture Condition*) (MISHRA *et al.*, 2004; MISHRA; SINGH, 2006; NRCS, 2004; PONCE; HAWKINS 1996; SAHU *et al.*, 2007; YUAN *et al.*, 2014).

Devido a sua simplicidade, facilidade de obtenção de informações do tipo de solo, manejo do solo e *LULC*, além dos resultados satisfatórios para simulação de escoamento direto em muitas bacias agrícolas e urbanas, é um dos métodos mais utilizados para estimar a vazão em bacias sem dados de monitoramento (BARTLETT *et al.*, 2016; GAREN; MOORE, 2005; NEARING *et al.*, 1996; PONCE; HAWKINS, 1996; VERMA *et al.*, 2017; YOUNG *et al.*, 2014; RAJIB; MERWADE, 2016; BABU; MISHRA, 2012). O método CN-NRCS é utilizado por uma série de modelos hidrológicos mais sofisticados, podendo citar dentre outros, os modelos: *Agricultural Policy/Environmental Extender – APEX* (WILLIAMS *et al.*, 2008), *Storm Water Management Model – SWMM* (ROSSMAN, 2017), *Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System - HEC-HMS* (SCHARFFENBERG *et al.*, 2018), *Agricultural Non-Point Source Pollution Model (AGNPS)* (YOUNG *et al.*, 1989) e o *The Soil Water Assessment Tool - SWAT* (ARNOLD *et al.*, 2013).

Críticas ao método CN-NRCS foram apresentadas na literatura, tais como o método considerar bacias hidrográficas concentradas, ser desenvolvido com base em um conjunto de dados regionais de bacias agrícolas, definir a abstração inicial (*Ia*) em 20 % da capacidade máxima de armazenamento (*S*) e não incorporar os efeitos de escala (GAREN; MOORE, 2005; HAWKINS, 2014; PONCE; HAWKINS, 1996; AJMAL; KIM, 2015; SHI *et al.*, 2009; WOODWARD *et al.*, 2003). No entanto, a experiência e familiaridade com esse modelo hidrológico influenciam fortemente a preferência por seu uso, mesmo quando outras

abordagens podem ser mais adequadas para uma determinada aplicação (GAREN; MOORE, 2005; ADDOR; MELSEN, 2018).

A abstração inicial *Ia* é composta pela interceptação, infiltração, evapotranspiração e pelo armazenamento na superfície do solo e, conseqüentemente, a precipitação inicial em mm retida antes do início do escoamento direto em uma bacia (NRCS, 2004). A *Ia* foi fixada originalmente no método CN-NRCS como 20 % da capacidade máxima de armazenamento *S*, durante um evento de chuva/vazão a qual o CN foi derivado (HAWKINS *et al.*, 2008; NRCS, 2004). Devido à incerteza e origem desconhecida, vários pesquisadores reavaliaram a seleção de 0.2, com a maioria dos valores convergindo para 0.05 (BALTAS *et al.*, 2007; LAL *et al.*, 2019; DO VALLE JUNIOR *et al.*, 2019; MISHRA *et al.*, 2006; WOODWARD *et al.*, 2004; HAWKINS *et al.*, 2009).

Alguns estudos (Ex: JACOBS *et al.*, 2003; MISHRA *et al.*, 2004; MISHRA; SINGH, 2004; MICHEL *et al.*, 2005; MISHRA; SINGH, 2006; SAHU *et al.*, 2007; BECK *et al.*, 2009) demonstraram que a introdução da umidade do solo no modelo, através do ajuste do CN ou da *Ia*, melhoram a precisão da estimativa do escoamento direto. Posteriormente, outros estudos demonstraram o impacto da vegetação nos processos hidrológicos (AUERSWALD *et al.*, 1996; HAWKINS, 1981; PONCE; HAWKINS, 1996; ISHIDAIRA *et al.*, 2008; PERRY; NIEMANN, 2008; TEMIMI *et al.*, 2010; HAWKINS; WARD, 1998; REITZ, 1999; MISHRA *et al.*, 2003; DESCHEEMAER *et al.*, 2006, 2008) e investigaram o impacto da vegetação no CN sobre diferentes tipos *LULC* e estabeleceram relações lineares entre CN e densidade da vegetação. Outros pesquisadores se concentraram nas mudanças do CN para diferentes estações do ano (ELHAKEEM; PAPANICOLAOU, 2009; WEHMEYER; WEIRICH, 2010).

As mudanças na cobertura vegetal ao longo das estações do ano sugerem que seu efeito sobre o escoamento direto deve variar também no tempo. Portanto, é fundamental considerar o impacto do *LULC* e da umidade do solo nos processos hidrológicos para melhorar o desempenho do método CN-NRCS (GONZALEZ *et al.*, 2015). Alterações no *LULC* modificam a *Ia*, pois esse parâmetro representa o atraso da precipitação antes do início da geração do escoamento superficial. No entanto, não existem maneiras diretas de estimar essas mudanças ou formas de obtê-las sem monitoramento hidrológico.

Neste sentido, uma metodologia que usa índices de vegetação (*Vegetation Indexes – VI*) para fornecer informações da *Ia* é proposta. Alguns exemplos de *VI*'s incluem: o

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (TUCKER, 1979); o Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) e o Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2) que apresentam uma resposta superior aos parâmetros da vegetação com menos interferência do solo (HUETE, 1988; JIANG et al., 2008; ZHANG et al., 2007). O EVI2 tem a vantagem de apresentar menor influência da atmosfera nas bandas usadas, sendo calculado apenas com a refletância das bandas *red* e *NIR* (JIANG et al., 2008; FREITAS et al., 2011).

Os *VI's* são usualmente empregados para observações da variação espaço-temporal da vegetação, como a biomassa das plantas (JING *et al.*, 2014), o índice de área folhar (DE JONG; JETTEN, 2007), arquitetura do dossel das plantas (GAO *et al.*, 2000), mudanças abruptas de cobertura da terra como o deflorestamento (FREITAS *et al.*, 2011), além de parâmetros indiretamente relacionados à cobertura vegetal, como precipitação e umidade do solo, por exemplo (JÚNIOR et al., 2014; MENDEZ-BARROSO et al., 2009).

### CN-NRCS com $\lambda$ variável

O método CN-NRCS na formulação original para estimativa do escoamento total (Eq. 1 e Eq. 2) é baseada na estimativa da capacidade máxima de retenção de água no solo  $S$  (Eq.3), que é dependente do parâmetro CN (Eq. 4). A partir da análise de um evento é possível extrair todas as variáveis que solucionam a Eq. 3, incluindo o  $Ia$ , sendo obtido em seguida os parâmetros  $S$ ,  $\lambda$  e  $CN$  de um determinado evento pelas Eq. 2, Eq. 3 e Eq. 4 (TUCCI, 2012), cada evento vai apresentar um conjunto único de parâmetros,  $\lambda$  é variável entre cada evento (ver descrição metodológica detalhada na seção **3.2.2 análise de eventos**):

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Ia = \lambda \times S \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Q = 0 \quad \text{if } P < Ia$$

$$S = (P - Ia) \left[ \frac{(P - Ia)}{Q} - 1 \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde  $Q$  é o escoamento direto (mm);  $S$  é a capacidade máxima de armazenamento (mm),  $P$  é a precipitação (mm);  $\lambda$  taxa de abstração inicial; e  $CN$  é um parâmetro adimensional, que pode variar entre 0 e 100, onde 0 corresponde a um solo com capacidade de infiltração infinita e 100 corresponde a um solo completamente impermeável.

### **CN-NRCS com $\lambda = 0.2$**

O parâmetro  $CN$  varia em função de três condições (tipo de solo, *LULC* e *AMC*), nas tabelas típicas da literatura é convencional a adoção do mesmo valor de  $\lambda = 0,2$  para qualquer bacia em todos os eventos (PONCE; HAWKINS, 1996). Quando utilizada a simplificação  $\lambda = 0.2$ , os termos de  $Ia$  da Eq. 1 são substituídos pela Eq. 2 ( $Ia = 0.2S$ ), o que permite que a única incógnita seja o  $CN$ , então obtido por tabelas, isso permite a utilização do método para locais sem dados. Para a obtenção do  $CN$  de cada evento a obtenção do parâmetro  $S$  passa a ser definida pela solução algébrica da Eq. 5 (HAWKINS, 1993):

$$S = 5 \left[ (P + 2Q) - \sqrt{4Q^2 + 5PQ} \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

### **CN-NRCS com $\lambda = 0.05$**

Woodward et al. (2003) encontrou uma relação de  $\lambda = 0.05$  como sendo mais apropriada para o método CN-NRCS, partindo desta relação, a Eq. 1 tem seu termo reescrito  $Ia = 0.05S$ , da mesma maneira que a abordagem anterior (CN-NRCS com  $\lambda = 0.2$ ), é possível a utilização deste método com a única incógnita sendo o  $CN$ . A solução algébrica da equação é apresentada pela Eq. 6, o parâmetro  $CN$  continua sendo calculado pela Eq. 4.

$$S = 10 \left[ (2P + 19Q) - \sqrt{361Q^2 + 80PQ} \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

## Estimativa do parâmetro CN

As três formas de utilização do método CN-NRCS ( $\lambda$  variável,  $\lambda = 0,2$  e  $\lambda = 0,05$ ) apresentam várias diferenças entre si, o método com  $\lambda$  variável utiliza o parâmetro de  $Ia$  que descreve características fundamentais da bacia transcritas por meio da capacidade de retenção de precipitação da bacia, contudo é um parâmetro que só pode ser obtido através da análise de chuva/vazão dos eventos, o que restringe a aplicação para bacias com dados monitorados. Por outro lado os métodos com  $\lambda$  fixo são mais versáteis em termos de simplificação, pois a única incógnita dos dois métodos é o parâmetro CN, que pode ser obtido através de tabelas baseadas em características das bacias, ou calibrando o CN para a bacia de estudo.

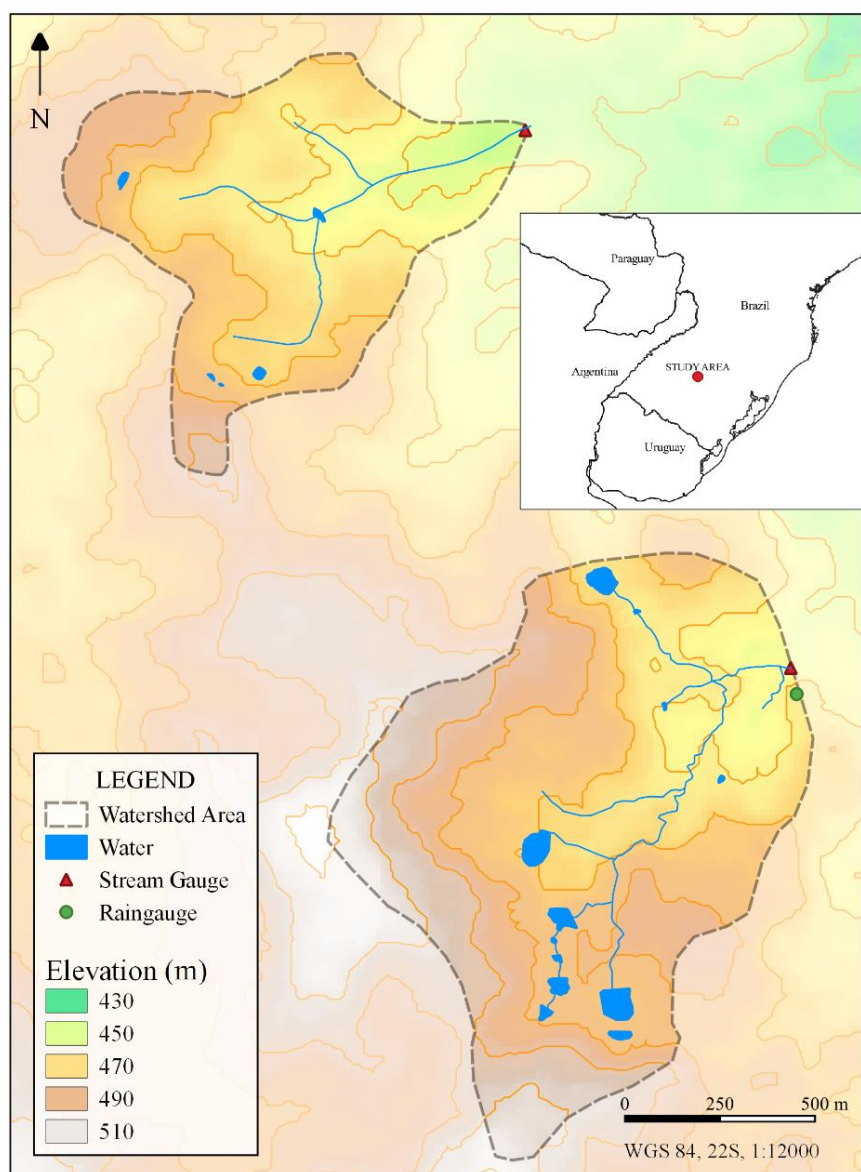
A seleção de um  $\lambda$  apropriado é ponto fundamental para a utilização do método CN-NRCS. Para tal, os objetivos deste estudo foram: (1) determinar a taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) para os eventos de duas bacias agrícolas; (2) avaliar a relação do parâmetro  $Ia$  sobre as variações sazonais de  $LULC$  obtidas pelo EVI2; (3) comparar a performance dos métodos com  $\lambda$  fixo ( $\lambda = 0.2$  e  $\lambda = 0.05$ ), com o  $\lambda$  variável e o método  $\lambda$  variável com a  $Ia$  obtido pela relação com o EVI2 ( $\lambda$  ( $EVI2$ ) variável); e (4) comparar o desempenho do método CN-NRCS em uma condição sem dados.

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Área de estudo

Usaram-se dados de chuva/vazão de duas bacias hidrográficas pareadas (WS80 e WS140) com 0.80 km<sup>2</sup> e 1.39 km<sup>2</sup> localizadas no interior do município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil (Figura 1). A área faz parte da bacia hidrográfica do rio Jacuí, uma das bacias fluviais mais cultivada no Sul do Brasil.

Figura 1 - Localização das bacias em estudo, altimetria (ALOS Data Consortium - 12.5 m), hidrografia e estações de hidrometeorológicas das bacias WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O relevo da área é caracterizado por colinas suaves, com pouca inclinação e altitude variando de 440 a 510 m. O clima, de acordo com a classificação clássica de Köppen, é subtropical úmido Cfa, com verões úmidos com temperaturas que frequentemente ultrapassam 30 ° C, com a média baixa de 19 ° C. No inverno, as temperaturas atingem 19 ° C e as baixas geralmente ficam inferiores a 9 ° C, chegando a 5 ° C, mas a neve é uma ocorrência rara. A precipitação média anual é de 1688 mm, distribuída ao longo do ano, mas com chuvas mais



intensas (convectivas) durante a primavera e o verão e frontais durante o inverno (TASSI et al. 2014, 2015).

Ambas as bacias apresentam *LULC* muito similar (Tabela 1) provindos da agricultura familiar, com produção de grãos de sequeiro na primavera/verão e gado de leite nas mesmas áreas durante o inverno. As maiores diferenças estão nas áreas de mata ciliar e nas áreas úmidas (Figuras 2 (A) e 2 (B)).

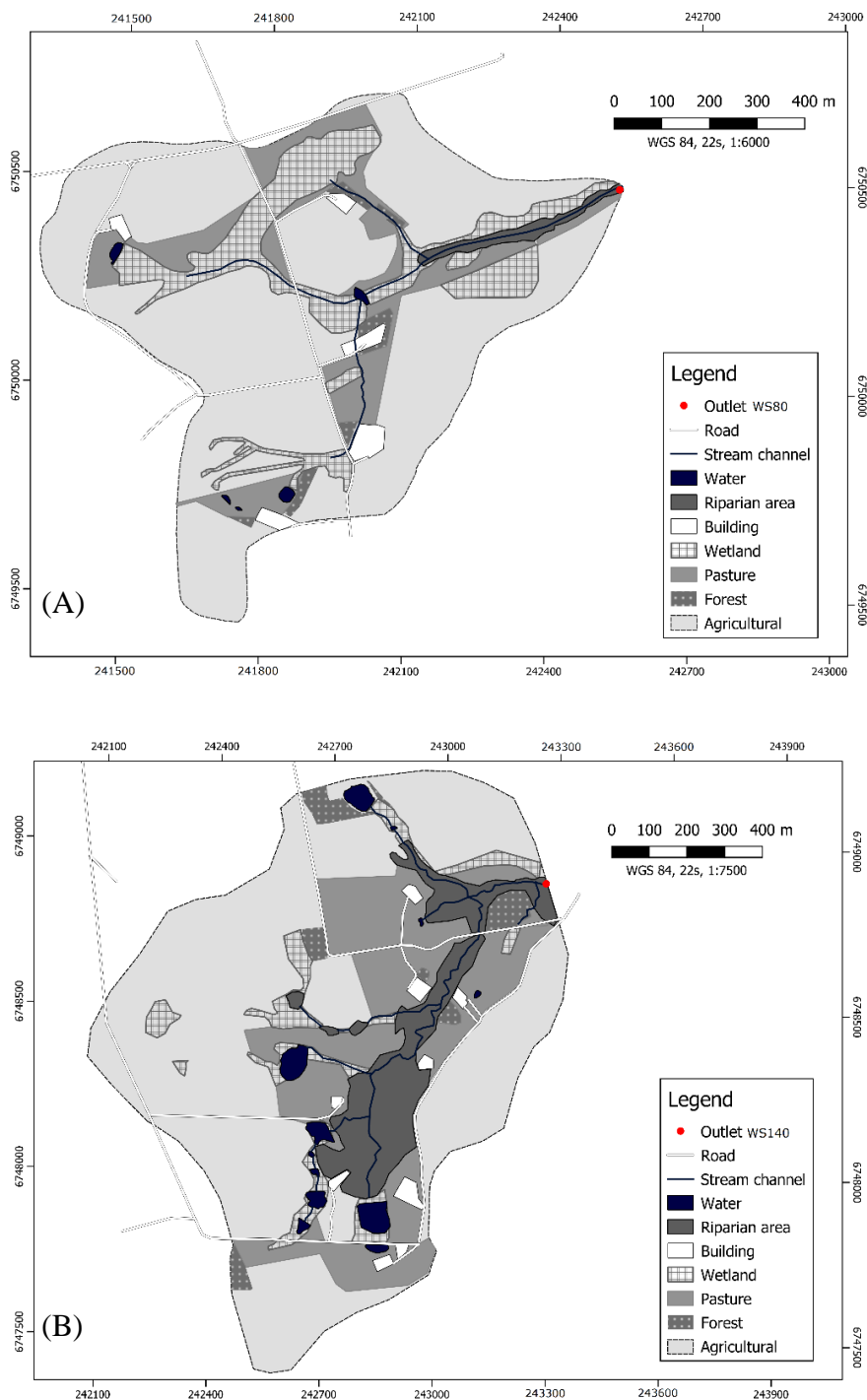
Tabela 1 - Principais usos da terra, média dos anos 2010 a 2012, nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B).

<b>LULC</b>	<b>WS80</b>	<b>WS140</b>
	..... % .....	
<i>Áreas Agrícolas</i>	69.0	58.8
<i>Mata Ciliar</i>	1.4	10.4
<i>Reflorestamento</i>	1.3	2.3
<i>Áreas de Pastagem</i>	11.9	20.6
<i>Áreas Construídas</i>	1.5	1.2
<i>Água</i>	0.2	1.9
<i>Áreas úmidas</i>	14.7	4.8

Fonte: Adaptado de Capoane (2011).

Os dados de chuva/vazão foram disponibilizados por três projetos de pesquisa com recursos financeiros obtidos na FAPERGS, CNPq e FEPAGRO / FINEP. As chuvas e a vazão foram monitoradas por 36 meses na WS140 (jan2010 a dez2012) e 29 meses na WS80 (jul2010 a dez2012) em intervalos de 5 minutos. A vazão foi monitorada usando calhas Parshall e um sensor transdutor de pressão em cada uma das bacias hidrográficas. É importante notar que o escoamento diário entre as bacias hidrográficas WS80 e WS140 é fortemente correlacionado, com um coeficiente de determinação de 0.93 para o período monitorado, 2010-2012 (Pellegrini, 2003; Alvarez, 2004). A precipitação foi monitorada por uma estação meteorológica automática e com um pluviômetro, ambos na bacia hidrográfica do WS140, o mesmo conjunto de dados foi usado para a bacia WS80, devido à proximidade entre os exutórios (1,5 km).

Figura 2 - Distribuição espacial dos usos dos solos, média dos anos 2010 a 2012, das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B).



Fonte: Adaptado de CAPOANNE (2011) e imagens Google Earth.

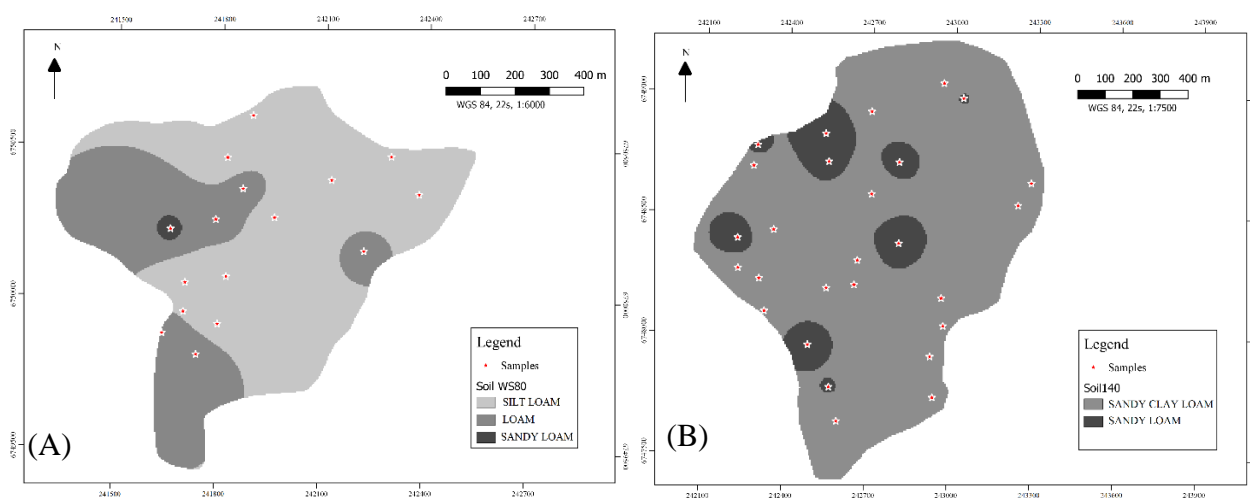
O solo predominante nas duas bacias é o Argisolo, os grupos texturais seguindo a nomenclatura do USGS estão apresentados na tabela 2, as características principais da camada superficial foram obtidas a partir de 16 e 27 amostragens para as bacias WS80 e WS140, respectivamente. Os atributos físicos do solo foram especializados com o módulo *Soil Texture Classification* do software SAGA (CONRAD *et al.*, 2015) com o Qgis 3.8 (Qgis, 2019) (figuras 3 (A) e 3 (B)). O detalhamento das informações do solo das bacias está descrito na seção 4.2.2.1 *Dados de caracterização do solo*.

Tabela 2 - Parâmetros físicos dos solos da camada 0,00-0,15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Grupo Textural	Argila (g Kg)	Silte (g Kg)	Areia (g Kg)	Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )	Porosidade Total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
<i>Silt Loam</i>	8.7	56.2	35.1	1.63	0.39	0.36	0.02
<i>Loam</i>	10.5	47.5	42.0	1.67	0.37	0.34	0.02
<i>Sandy Loam</i>	18.3	17.4	64.3	1.6	0.38	0.33	0.05
<i>Sandy Clay Loam</i>	22.1	16.6	61.3	1.52	0.42	0.35	0.07

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Distribuição espacial dos grupos texturais dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 (A) e WS140 (B).

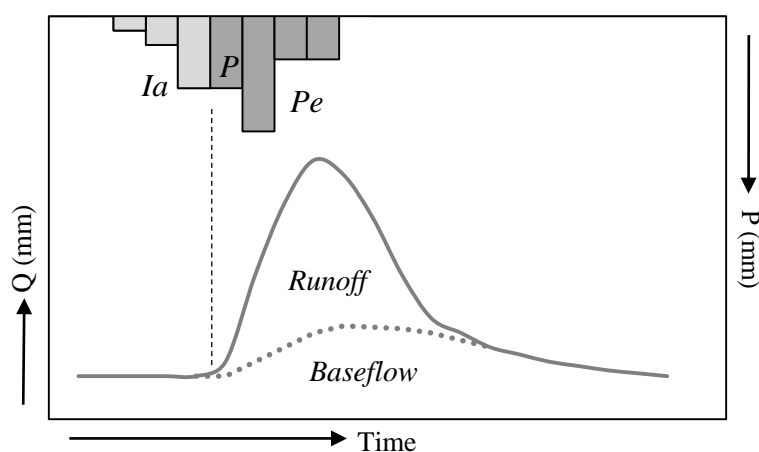


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Análise dos eventos

Para a análise de eventos foram incluídos apenas eventos com mais de 10 mm de precipitação. A separação do escoamento direto foi realizado por meio de um *Digital Recursive Filtering* (DRF), o qual separa os dados de escoamento total ( $y_t$ ) em escoamento de base ( $b_t$ ) e escoamento direto( $f_t$ ) (Figura 4 e Eq. 8).

Figura 4 - Variáveis hidrológicas analisadas nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos - Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.



Fonte: Adaptado de Hawkins *et al.* (2002).

$$y_t = f_t + b_t \quad (\text{Eq. 8})$$

O filtro de Eckhardt (Eckhardt, 2005) é um DRF que assume uma relação linear entre o escoamento de base e o armazenamento (Eq. 9). Este método apresenta vantagens em relação a outros devido a um melhor ajuste dos valores do escoamento de base além de poder ser utilizado em intervalos de tempo sub-diários (ECKHARDT, 2008; ZHANG *et al.*, 2013; STEWART, 2017) e adequado para pequenas bacias hidrográficas:

$$b_t = \frac{(1 - BFI_{\max}) \cdot a \cdot b_{t-1} + (1 - a) \cdot BFI_{\max} \cdot y_t}{1 - a \cdot BFI_{\max}} \quad (\text{Eq. 9})$$

onde,  $t$  é o passo de tempo,  $a$  é o parâmetro de recessão, e  $BFI_{\max}$  é o índice máximo de escoamento de base. O índice de escoamento de base representa como a água proveniente do subsolo contribui ao escoamento total e o parâmetro de recessão  $a$  relata a taxa de redução do escoamento total no tempo  $t+1$ .

O parâmetro  $a$  pode ser derivado a partir de uma análise estatística das curvas de recessão do hidrograma (Eq. 10) quando o escoamento de base é responsável pelo escoamento total (neste caso  $Q = qb$ ) (NATHAN; MCMAHON, 1990; VOGEL; KROLL, 1996; RUTLEDGE, 1998; ECKHARDT, 2005):

$$y_{t+1} = ay_t \quad (\text{Eq. 10})$$

O *Base Flow Index* (BFI) indica qual a porcentagem do escoamento total é proveniente do escoamento de base. Eckhardt (2005) também relatou que o  $BFI_{\max}$  representa o valor máximo do parâmetro do fluxo de base para um determinado local, e hidrológicamente, a razão de longo prazo do fluxo de base para o fluxo total ( $BFI_{\max} \leq 1$ ). Esses valores de escoamento de base podem ser obtidos por elementos traçadores (ZHANG et al. 2002; ECKHARDT 2008) ou métodos de separação alternativos baseados no comportamento do hidrograma (COLLISCHONN; FAN, 2013). Neste trabalho, o  $BFI_{\max}$  foi obtido da equação sugerida por Collischonn e Fan (2013), com base em bacias brasileiros (Eq. 11).

$$BFI_{\max} = 0.8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0.2146 \quad (\text{Eq. 11})$$

Os eventos de chuva/vazão foram definidos considerando o término do escoamento direto do evento anterior, este procedimento foi realizado após a separação da vazão pelo FDR. Os eventos foram então agrupados de acordo com a AMC com base no USDA (2007). Para cada evento de precipitação o AMC foi determinado com base no volume da precipitação acumulada nos 5 dias anteriores do início do evento.

A obtenção do  $Ia$  se deu através do método de análise de eventos (HAWKINS *et al.*, 2002). Primeiro foram sincronizados os registros de chuva-vazão (Figura 4), a precipitação ocorrida antes do início do escoamento total foi considerado o valor do  $Ia$ . Em seguida, com os valores de  $Ia$  foi utilizada a Eq. 3, de modo a encontrar o  $S$  do evento, em seguida foram feitas as substituições na Eq. 2, obtendo assim uma taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) única para cada evento. Outros parâmetros como a precipitação ( $P$ ), precipitação da abstração inicial ( $Ia$ ), precipitação efetiva ( $Pe$ ) e escoamento direto ( $Q$ ) foram coletados na análise dos eventos conforme o indicado por Hawkins *et al.*, (2002).

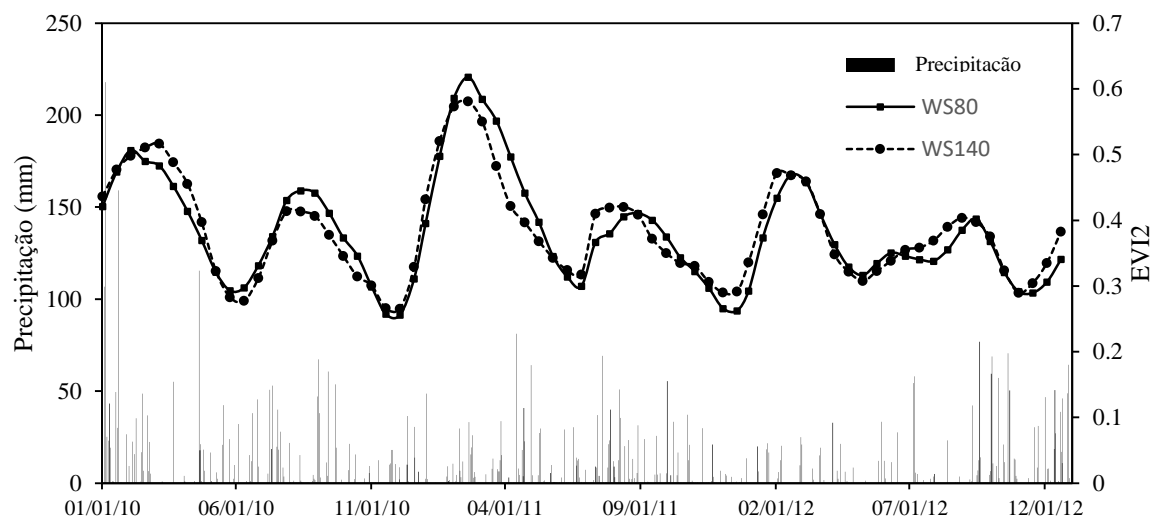
### 3.2.3 Dados de sensoriamento remoto

O EVI2, já tratado e pronto para uso, foi obtido a partir do laboratório virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, acesso via: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>), onde é calculado com base no MODIS produto MOD13Q1 (coleção 5) como descrito por Freitas *et al.* (2011) e Jiang *et al.* (2008), utilizando as bandas Red e NIR (Eq. 11).

$$EVI2 = 2.5 \times \frac{NIR - Red}{(NIR + 2.4 \times Red + 1)} \quad (\text{Eq. 12})$$

Os EVI2 médios (Figura 5) foram obtidos a partir da média do grid de EVI2 de 17 pixels na bacia WS80 e 25 na WS140, resultando em 918 e 1656 imagens, respectivamente, para o período monitorado. Também foi realizado o somatório da precipitação acumulada entre os EVI2 médios para cada data de passagem do satélite, com o intuito de observar a relação entre a precipitação e as séries de EVI2, esta relação foi avaliada através do coeficiente de determinação de Pearson.

Figura 5 - Série de EVI2 e precipitação de 2010 a 2012 nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.4 Calibração do parâmetro CN e estimativa do escoamento direto para uma condição sem dados

Para o presente estudo a calibração do parâmetro CN foi realizada através da obtenção da média aritmética total dos CNs ajustados nos eventos (TEDELA *et al.*, 2012) da mesma forma que a mediana dos valores (USDA, 1997; JUNIOR *et al.*, 2019). As duas técnicas foram comparadas entre si para cada uma das três abordagens de determinação do  $\lambda$  do método CN-NRCS e foram testados e comparados na bacia oposta, através da transferência do parâmetro CN, a abordagem  $\lambda$  variável não foi usada para a estimativa devido a necessidade da variável  $Ia$ .

### 3.2.5 Avaliação dos resultados

Para verificar a relação entre o  $Ia$  e as variações de  $LULC$  estimadas pelo EVI2, foi utilizado o coeficiente de Pearson, também foram geradas regressões lineares que descreveram o  $Ia$  em função do EVI2. Uma validação cruzada (espacial) foi realizada, calibrando a regressão em uma bacia e validando na outra.

Os indicadores estatísticos utilizados para avaliar a performance do método CN na estimativa do volume total de escoamento direto nos eventos, tanto para calibração e quanto para validação foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) o desvio percentual (PBIAS) e o coeficiente eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE).  $R^2$  pode variar de 0 a 1 (Eq. 13) e é equivalente a raiz quadrada do coeficiente de Pearson, mas sem valores negativos. O PBIAS (Eq. 14) mede a tendência média de valores simulados serem menores ou maiores do que os observados (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999), enquanto o NSE (Eq. 15) determina a magnitude da variância residual dos dados simulados em comparação com a variância dos dados observados (NASH; SUTCLIFFE, 1970). O ranking de performance dos resultados do modelo SWAT foi estabelecido seguindo o descrito por Moriasi *et al.*, (2007, 2015).

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_i^n (Q_{Obs(i)} - \bar{Q}_{Obs(i)})(Q_{Sim(i)} - \bar{Q}_{Sim(i)})}{\left[ \sum_i^n (Q_{Obs(i)} - \bar{Q}_{Obs(i)})^2 \times \sum_i^n (Q_{Sim(i)} - \bar{Q}_{Sim(i)})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (\text{Eq. 13})$$

$$PBIAS = 100 \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - Q_{Sim})_i}{\sum_{i=1}^n Q_{Obs(i)}} \right) \quad (\text{Eq. 14})$$

$$NSE = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - Q_{Sim})_i^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs(i)} - \bar{Q}_{Sim})_i^2} \right) \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde,  $Q_{Obs}$  os volumes de escoamento direto observados nos eventos,  $Q_{Sim}$  os volumes simulados dos eventos,  $\bar{Q}_{Sim}$  a média dos valores simulados,  $\bar{Q}_{Obs}$  a média dos valores observados, e  $i$  é o  $i$ -ésimo valor do dado.



### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Análise dos eventos

Um total de 76 e 110 eventos nas bacias WS80 e WS140 maiores que 10 mm, respectivamente, foram analisados. O  $BFI_{max}$  para a separação do escoamento de base foi de 0.63 e 0.54, respectivamente. Estes valores são superiores aos indicados por Eckhardt (2005) para cursos d'água perenes em aquíferos rochosos, também estão ligeiramente superiores aos encontrados por Collischon e Fan (2012) em duas bacias hidrográficas localizadas no planalto do Rio Grande do Sul. O coeficiente de recessão das duas bacias foi de  $a = 0.997$ , dentro do esperado de acordo com a literatura.

##### 3.3.1.1 Abstração inicial observada nos eventos de chuva-vazão

A precipitação observada no período variou entre 10.1 e 157.9 mm, abrangendo eventos de longa duração, comuns nas estações do inverno, e eventos de alta intensidade no verão. Em consequência, uma grande variabilidade de  $Ia$  foi encontrada, variando entre 1.65 até 13.5 mm. O  $Ia$  mínimo registrado foi de 1.65 e 2.40 mm para as bacias WS80 e WS140, respectivamente. As demais métricas, média, mediana e a máxima de  $Ia$  foram muito semelhantes. O resumo da análise dos eventos é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Resumo dos resultados da análise dos eventos (186 eventos de chuva  $\geq 10$  mm de P) nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.

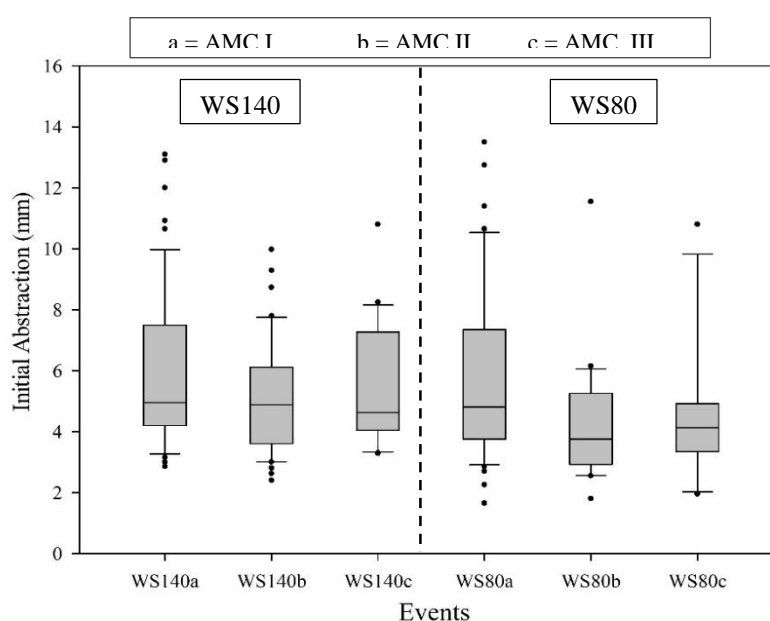
Bacia Hidrográfica	Métrica	$P$ (mm)	$Pe$ (mm)	$Q$ (mm)	$Ia$ (mm)	$S$ (mm)	$\lambda$
WS140	<b>Mín</b>	10.1	1.6	0.05	2.40	8.8	0.0014
	<b>Média</b>	38.2	32.6	3.55	5.54	462.1	0.0361
	<b>Mediana</b>	28.3	23.1	1.44	4.80	317.0	0.0147
	<b>Max</b>	157.9	150.4	25.76	13.10	2793.1	0.2624
WS80	<b>Mín</b>	10.1	1.1	0.02	1.65	24.6	0.0008
	<b>Média</b>	35.3	30.2	2.01	5.08	957.9	0.0201
	<b>Mediana</b>	28.5	23.7	0.95	4.28	520.1	0.0086
	<b>Max</b>	137.0	132.8	17.10	13.50	5340.4	0.5471

Fonte: Elaborado pelo autor.

O volume máximo de  $Ia$  em ambas as bacias hidrográficas foi inferior aos encontrados pelos estudos de Shi *et al.*, (2009) em uma bacia de 16.7 km<sup>2</sup> e Do Valle Junior *et al.*, (2019) em uma bacia de 315 km<sup>2</sup>, mas a amplitude dos resultados foi próxima ao descrito por Baltas *et al.*, (2007) para uma bacia de 15.1 km<sup>2</sup> na Grécia. As diferenças encontradas entre estes trabalhos podem estar atreladas a aspectos não discutidos nos trabalhos, tais como características fisiográficas das bacias, uso e ocupação de solo, aspectos pedológicos e geomorfológicos, métricas da precipitação (intensidade e duração). Esses fatores podem ser responsivos sobre o processo de geração de escoamento nas diferentes escalas (BLÖSCH *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2018).

A definição climática apresentada pela metodologia CN-NRCS (AMC), não apresentou efeito significativo no *f-test* das médias da  $Ia$ . Todavia, não foram testadas a intensidade e a duração dos eventos, que podem ser fatores importantes na retenção de umidade do solo, como já demonstrado em trabalhos que modificaram o método CN-NRCS (JAIN *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2019). A figura 6 apresenta a dispersão da  $Ia$  nos eventos das duas bacias hidrográficas agrupados em função da AMC observada nos eventos. Devido a equivalência dos  $Ia$  entre as condições de umidade das bacias, nas etapas seguintes foi considerado AMC = II em todos os eventos, por representarem uma média das condições de umidade da bacia (USDA, 1997).

Figura 6 - Dispersão da  $Ia$  nos eventos de WS80 e WS140 nas três AMC's. Médias consideradas idênticas ao nível de 5 % de significância do *f-test*.

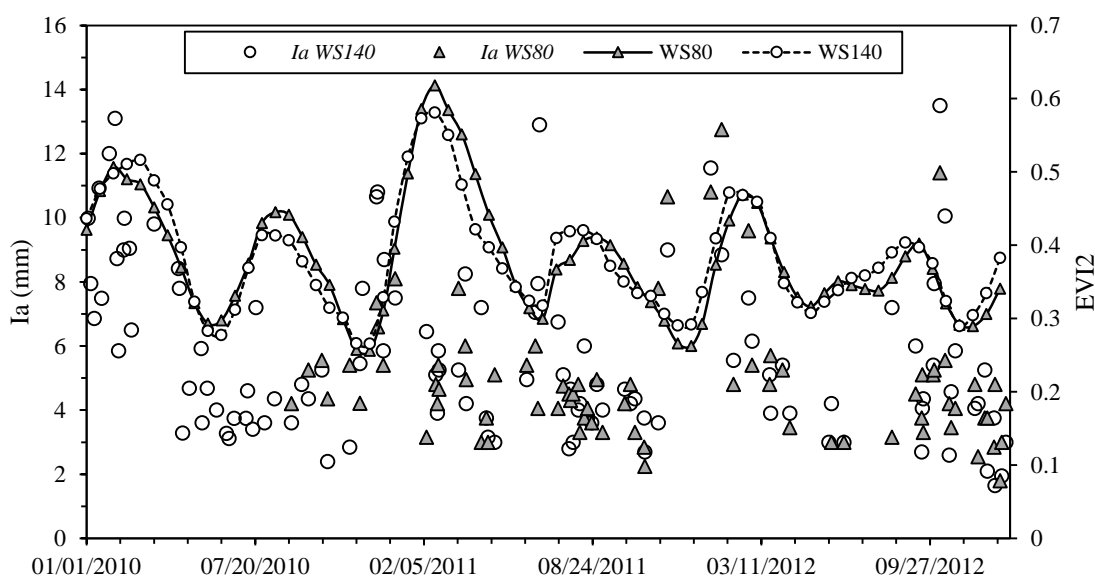


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.1.2 Efeitos das mudanças de uso e ocupação da terra na abstração inicial

A variação temporal do EVI2 foi diretamente relacionada com a  $Ia$  dos eventos, com coeficiente de correlação de *Pearson* de 0.65 e 0.73 para WS80 e WS140, respectivamente. As maiores  $Ia$  foram observadas nos períodos de EVI2 elevado, evidenciando a importância da estrutura biofísica vegetal, responsável pela interceptação, na parcela de retenção da chuva. As variações do LULC para o período de análise dos eventos foram obtidas através do índice de vegetação EVI2 (Figura 7).

Figura 7 - Média da série de EVI2 e a  $Ia$  observada nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A precipitação que incide sobre o dossel das plantas se subdivide principalmente em três componentes: água que passa através do dossel, escoamento pelo caule e perda por interceptação do dossel da planta (LLORENS & DOMINGO, 2007). Essa, refere-se a água interceptada pela estrutura morfológica da planta, uma parte armazenada em sua superfície outra fração que evapora para a atmosfera (MIRALLES et al., 2010). O índice de vegetação EVI2 é sensível às variações na resposta estrutural do dossel, que de maneira indireta, demonstraram influência no resultado da  $Ia$  tanto pelas perdas por interceptação do dossel

(DE JONG & JETTEN, 2007; LIU et al., 2018) quanto pelas variações no processo de geração de escoamento que ocorrem de forma sistêmica após a interceptação (SAVENIJE, 2004).

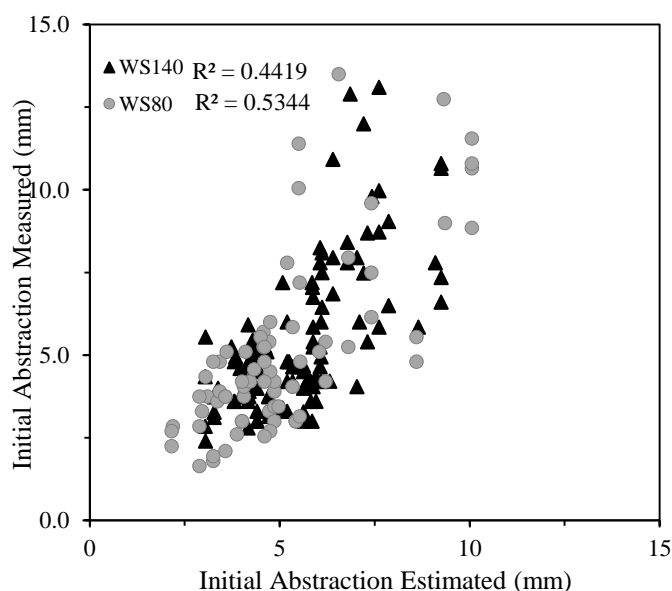
Os pares de EVI2-Ia foram utilizados para desenvolver equações de regressão (Eq. 16 e 17) que explicam a relação da Ia em função da cobertura vegetal. As equações desenvolvidas estão apresentadas a seguir e o resultados do ajuste está apresentado na figura 8.

$$Ia_{ws140} = 19.699 \times EVI2 + 2.1973 \quad (\text{Eq. 16})$$

$$Ia_{ws80} = 21.821 \times EVI2 + 3.434 \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde,  $Ia_{ws80}$  refere-se a bacia WS80 (mm),  $Ia_{ws140}$  refere-se a bacia WS140 (mm), EVI2 é o valor médio do índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2)* da bacia na última passagem do satélite antes do evento.

Figura 8 - Ia observada *versus* Ia estimada nas duas bacias hidrográficas a partir das equações 16 e 17 em função do índice de vegetação EVI2 Nas bacias WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A precipitação total acumulada entre as observações de satélite do EVI2 não apresentaram relação, ficando o coeficiente de Pearson próximo a 0 (item 3.2.3). Embora em

regiões com precipitação sazonal e, em consequência, das condições hidropedológicas e do crescimento vegetal também sazonal, são observadas relações fortes com a precipitação e até a umidade do solo através de índices de vegetação como o EVI2 (JÚNIOR et al., 2014; MÉNDEZ-BARROSO et al., 2009).

### 3.3.2 Influência do $\lambda$ na estimativa do escoamento superficial

#### 3.3.2.1 Valores de $\lambda$ e CN ajustados nos eventos

Os valores de  $\lambda$  foram obtidos a partir da observação da  $Ia$  nos eventos e divididos pela capacidade máxima de armazenamento  $S$  (Eq. 3). Os resultados resumidos estão descritos na tabela 4 e a dispersão dos dados em função da precipitação do evento apresentados na figura 9. A amplitude de  $\lambda$  foi superior aos trabalhos de Shi *et al.*, (2009), Baltas, Dervos e Mimikou (2007) e equivalente aos encontrados nos trabalhos de Hawkins *et al.*, (2009), Yuan *et al.*, (2012) e D'Asaro, Grillone (2012). Não houve padronização na amostragem dos eventos nos artigos supracitados e, em alguns o destes trabalhos o número de eventos era muito baixo enquanto em outros foram usados dados de centenas de bacias hidrográficas.

Tabela 4 - Resumo dos resultados dos valores de  $\lambda$  observados nos eventos das bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 e WS140.

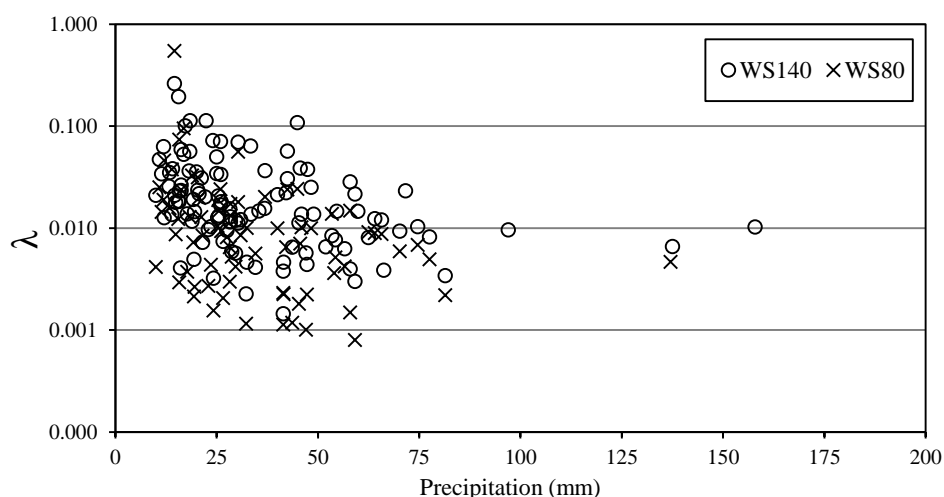
Bacia Hidrográfica	Min	Média	Mediana	Max
WS140	0.0014	0.0361	0.0147	0.2624
WS80	0.0008	0.0201	0.0086	0.5471

Fonte: Elaborado pelo autor.

Mesmo tendo quantidade menor de eventos, a maior amplitude do  $\lambda$  foi obtido na bacia WS80 (0.0008 a 0.5471 e média de 0.0201), enquanto na bacia WS140 os resultados variaram entre 0.0014 e 0.2624 com média 0.0361. Estes resultados vêm ao encontro das recomendações da literatura atual, os quais demonstram que a relação entre  $Ia/S$  representada pelo  $\lambda$  apresenta valores médios mais próximos a  $\lambda = 0.05$  e não ao valor de 0.2, preconizado

anteriormente. A Figura 9 apresenta a dispersão do  $\lambda$  observado em função da precipitação ocorrida no evento para ambas as bacias hidrográficas.

Figura 9 - Relação entre precipitação e taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) obtidos nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil (WS80 e WS140).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de CN calibrados pela média aritmética para as duas bacias nos quatro métodos ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2) variável), bem como os indicadores estatísticos estão apresentados na tabela 5. A tabela 6 apresenta os resultados para a Mediana.

Tabela 5 - Resumo dos resultados da média aritmética dos CN e avaliação dos resultados das quatro abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2)) na estimativa do volume de escoamento direto. NSE: Nash-Sutcliffe coefficient;  $R^2$ : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; \*SD: Standard deviation.

Bacia Hidrográfica	Média aritmética				
		$\lambda = 0.2$	$\lambda = 0.05$	$\lambda$ variável	$\lambda$ (EVI2)
CALIBRAÇÃO WS140	<i>CN</i>	74.4 (9.3*)	55.6 (11.6*)	45.8 (18.5*)	45.3 (18.8*)
	<i>NSE</i>	-3.34	0.05	0.17	0.21
	<i>PBIAS</i>	-46.2%	23.2%	-20.5%	-18.7%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.72	0.41	0.72	0.72
CALIBRAÇÃO WS80	<i>CN</i>	71.7 (9.7)	49.9 (11.9)	34.2 (18.8)	33.9 (19.8)
	<i>NSE</i>	-5.75	-1.12	0.31	0.33
	<i>PBIAS</i>	-55.1%	-31.4%	-20.3%	-18.5%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.62	0.02	0.67	0.65

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Resumo dos resultados da mediana dos CNs e avaliação dos resultados das quatro abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2)) na estimativa do volume de escoamento direto. NSE: Nash-Sutcliffe coefficient;  $R^2$ : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; \*SD: Standard deviation.

Bacia Hidrográfica	Statistic	Mediana			
		$\lambda = 0.2$	$\lambda = 0.05$	$\lambda$ variável	$\lambda$ (EVI2)
	<b>CN</b>	76.5 (9.3*)	56.5 (11.6)	44.5 (18.5)	45.0 (18.8)
CALIBRATION WS140	<b>NSE</b>	-4.53	0.05	0.26	0.23
	<b>PBIAS</b>	-53.6%	24.4%	-16.9%	-17.9%
	<b>R<sup>2</sup></b>	0.72	0.41	0.72	0.72
	<b>CN</b>	73.8 (9.7)	50.2 (11.9)	32.8 (18.8)	30.4 (19.8)
CALIBRATION WS80	<b>NSE</b>	-7.81	-1.05	0.40	0.51
	<b>PBIAS</b>	-61.6%	-30.0%	-15.9%	-5.9%
	<b>R<sup>2</sup></b>	0.63	0.03	0.67	0.65

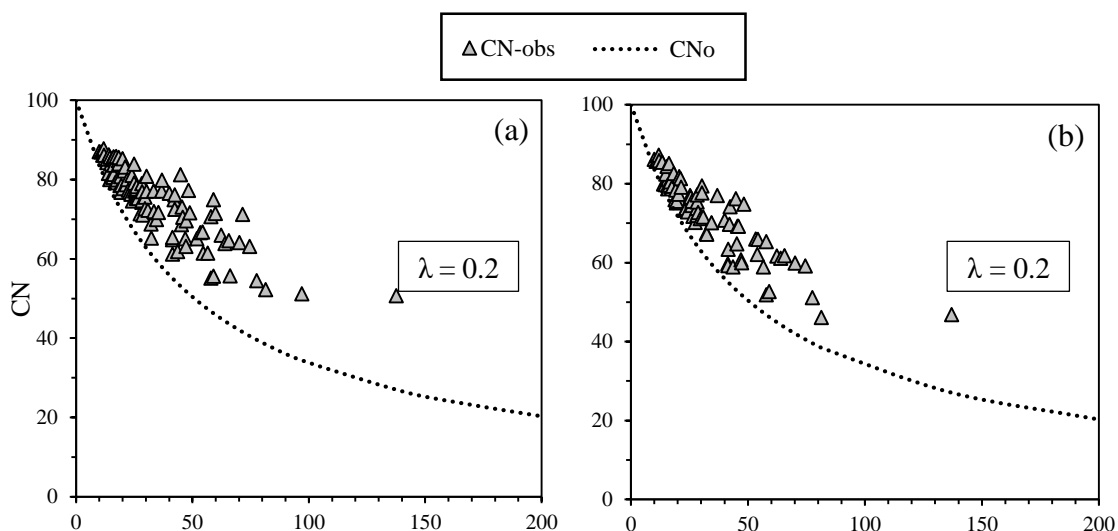
Fonte: Elaborado pelo autor.

O CN para  $\lambda = 0.2$  foi o mais alto encontrado, ficando no entorno de 74 na média aritmética e mediana para as duas bacias. Usando-se o  $\lambda = 0.05$ , o CN observados nos eventos teve média e mediana no entorno de 53, com um desvio padrão superior ao outro método. Para  $\lambda$  variável, o CN foi 45.8 para a média aritmética e 44.5 para a mediana na bacia WS140, enquanto que na bacia WS80 os valores foram inferiores sendo 34.2 e 32.8, respectivamente. Para a abordagem que utilizou a  $\lambda$  (EVI2) os resultados foram muito próximos do  $\lambda$  variável, o que demonstra o potencial de utilização do EVI2 para estimativa da  $I_a$  no método CN-NRCS, nas duas abordagens o desvio padrão ficou próximo a 20, apresentando uma grande dispersão nos CNs observados nos eventos em relação as abordagens que utilizam o  $\lambda$  fixo.

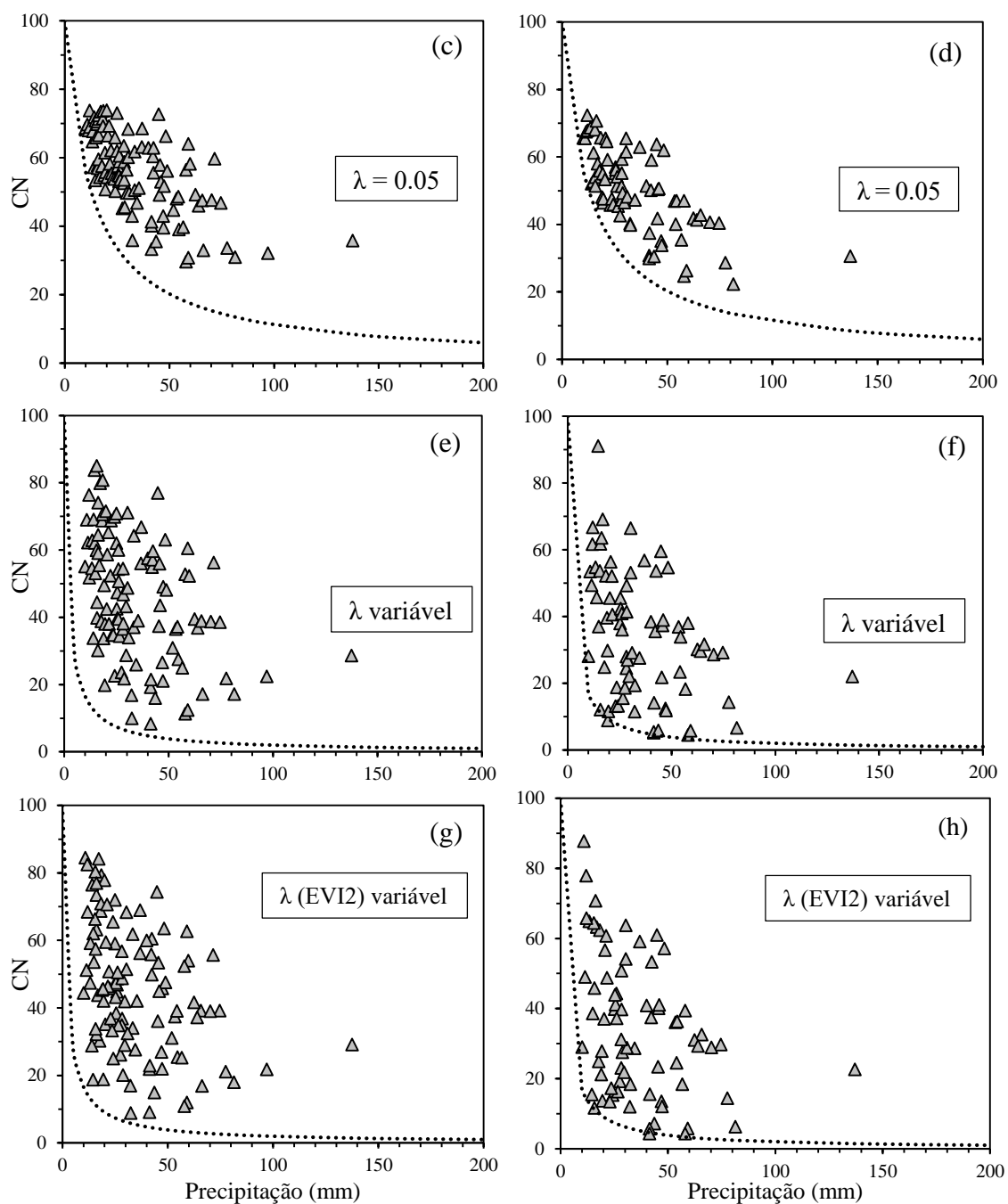
O desempenho estatístico dos métodos foram distintos, segundo os critérios de desempenho descritos por Moriasi *et al.* (2007, 2015). O método CN-NRCS com  $\lambda = 0.2$  tanto com CN obtido por média aritmética quanto pela mediana teve resultado satisfatório apenas para o  $R^2$ , apresentando superestimação elevada do volume de escoamento direto (PBIAS negativo) e leitura insatisfatória dos picos. Para  $\lambda = 0.05$  apenas o PBIAS ficou em faixa considerada satisfatória, o que representa igualdade no desempenho dos métodos com  $\lambda$  fixo. Não havendo vantagens significativas em relação ao uso do parâmetro CN obtido linearmente via média aritmética e mediana. Todavia há relatos na literatura de que o uso de  $\lambda$  próximos de 0.05 apresenta resultados melhores do que  $\lambda$  fixo (SHI *et al.*, 2009; YUAN *et al.*, 2012; WOODWARD *et al.*, 2004; DURÁN-BARROSO *et al.*, 2017).

O NCRS (1993) recomenda que os valores de CN devem ser superiores a 30 para o método utilizando  $\lambda = 0.2$ . Todavia ao utilizar  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2) variável os CNs observados tendem a valores cada vez mais baixos. Em relação a  $\lambda = 0.2$ , a dispersão dos valores de CN foi superior para o método  $\lambda = 0.05$  e ainda maior para os métodos com  $\lambda$  variável. A figura 10 apresenta os CNs observados para cada método e o CNo, que representa o limite de geração de escoamento ( $P = \lambda S$ ), para ambas as bacias. Foram excluídos dois eventos da bacia WS80, pois o EVI2 ficou a baixo do limite para geração de escoamento.

Figura 10- Ajuste gráfico do parâmetro CN observado nas bacias WS140 [(a), (c), (e) e (g)] e WS80 [(b), (d), (f) e (h)] em função da precipitação. CN-obs: CN observado no evento; CNo: limite de geração de escoamento em função da precipitação.





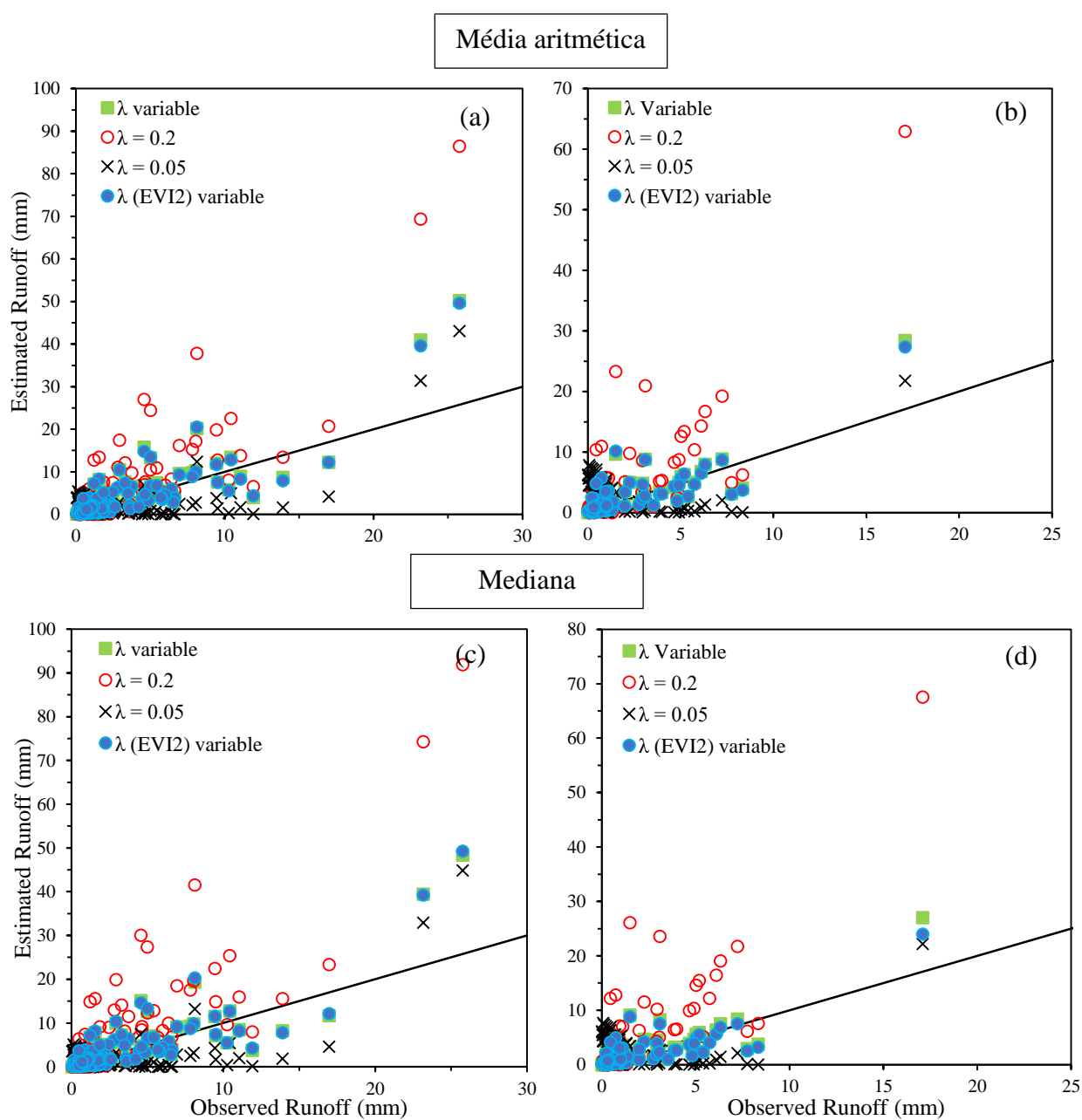


Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras 11 (a) e 11 (b) utilizaram a média aritmética dos CNs observados e apresentam o ajuste dos volumes de escoamento direto estimados em função dos observados para as duas bacias nas quatro abordagens do método  $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2) variável. As figuras 11 (c) e 11 (d) demonstram os resultados com a mediana. No geral, a dispersão entre as duas formas de estimativa do CN é semelhante, as maiores diferenças são observadas entre as abordagens para cálculo do  $\lambda$ . O método  $\lambda = 0.2$ , por exemplo, superestima

a vazão em todos os eventos com vazão superior a 5 mm em ambas as bacias hidrográficas monitoradas.

Figura 11 - Ajuste gráfico do volume de escoamento direto e estimada pelas quatro abordagens do método CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2)) para as bacias hidrográficas WS140 (a) e WS80 (b) considerando a média dos CN observados nos eventos, e (c) e (d) para a mediana respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.2.1 Desempenho do método CN-NRCS sob condições de dados limitados

Após realizada a calibração do CN de cada bacia nos quatro métodos ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda$  variável and  $\lambda$  (EVI2) variável), foram obtidos dois valores de CN, um pela média aritmética e outro pela mediana. Com o intuito de prever o volume de escoamento direto em uma bacia hipoteticamente sem dados de vazão e que não tenha passado pelo mesmo processo de calibração, os CNs da média aritmética e da mediana foram utilizados na bacia vizinha, partindo da premissa que ambas estão sob condições climáticas, de solo e de uso do solo semelhantes e que o ajuste realizado para cada bacia seja capaz de prever a vazão na outra. Para os métodos  $\lambda = 0.2$  e  $\lambda = 0.05$  (Eq. 5 e Eq. 7) as incógnitas da equação são a precipitação e o CN calibrado, sendo  $\lambda$  constante para ambas. Para o método  $\lambda$  (EVI2) variável, o  $\lambda$  também é uma incógnita, que passa a ser resolvida pelas equações Eq. 16 e 17, o que permite a utilização deste método em um local sem dados. O método  $\lambda$  variável não foi avaliado, pela necessidade da incógnita  $Ia$ .

A tabela 7 apresenta o desempenho estatístico das três abordagens do método CN-NRCS com o parâmetro CN transferido para a outra bacia. Os resultados foram novamente superiores para o método com  $\lambda$  variável ( $\lambda$  (EVI2) variável) em relação a faixa descrita por Moriasi *et al.* (2007, 2015). Na bacia WS140, o volume de escoamento direto utilizando a Média aritmética e a Mediana alcançaram resultados satisfatório para NSE,  $R^2$  e PBIAS. Para o PBIAS obtido por Média aritmética o resultado não alcançou faixa ideal, tendo subestimado a vazão (PBIAS positivo).

Para a bacia WS80, apenas o indicador  $R^2$  esteve em faixa satisfatória. A vazão de maneira geral foi superestimada, ocasionando em um PBIAS negativo, o que indica que os valores de CN obtidos na outra bacia são demasiadamente elevados para simular a vazão da bacia WS80.

Tabela 7 – Resumo dos resultados do CN transferido da bacia vizinha obtido pela média aritmética e pela mediana e avaliação dos resultados das quatro abordagens do CN-NRCS ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$  e  $\lambda$  (EVI2)). NSE: Nash-Sutcliffe coefficient;  $R^2$ : coefficient of determination; PBIAS: percentage bias; \*SD: Standard deviation.

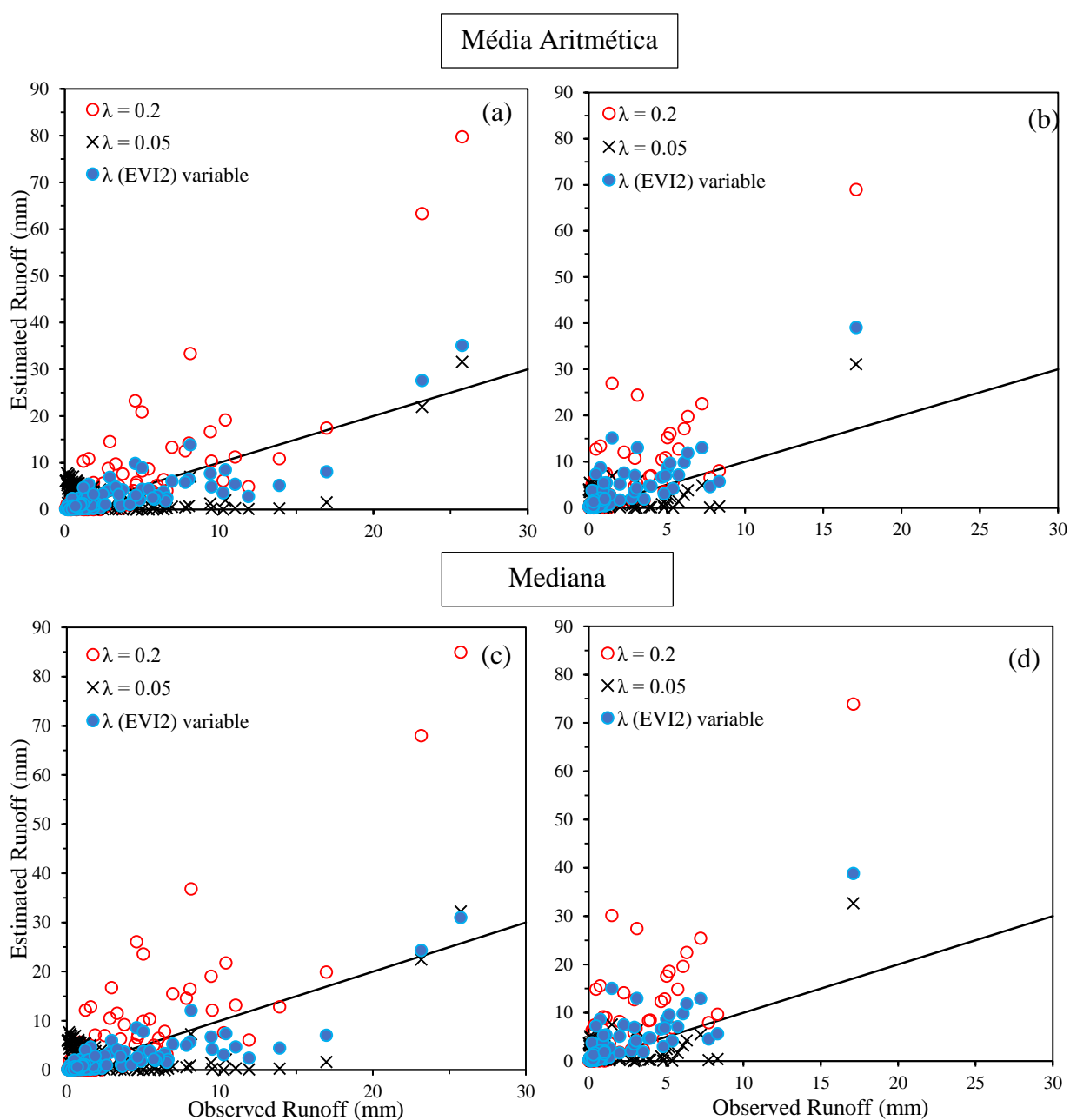
Bacia Hidrográfica	Média aritmética			
	Statistic	$\lambda = 0.2$	$\lambda = 0.05$	$\lambda$ (EVI2)
TRANSFERRED WS140	<i>NSE</i>	-2.20	-0.22	0.65
	<i>PBIAS</i>	-35.3%	-0.5%	22.5%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.71	0.12	0.71
TRANSFERRED WS80	<i>NSE</i>	-8.50	-0.47	-1.09
	<i>PBIAS</i>	-63.2%	-10.5%	-46.3%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.63	0.26	0.66
Mediana				
	Statistic	$\lambda = 0.2$	$\lambda = 0.05$	$\lambda$ (EVI2)
TRANSFERRED WS140	<i>NSE</i>	-3.06	-0.20	0.66
	<i>PBIAS</i>	-44.0%	1.3%	41.1%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.71	0.12	0.71
TRANSFERRED WS80	<i>NSE</i>	-11.40	-0.46	-1.04
	<i>PBIAS</i>	-68.7%	-9.1%	-45.8%
	<i>R<sup>2</sup></i>	0.64	0.31	0.66

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos fatores que pode ter ocasionado a diferença de desempenho entre as duas bacias pode ser a escolha da Média aritmética e Mediana para fornecer os CN's. Os CN's apresentam grande dispersão e desvio padrão, sendo a escolha de apenas um CN fixo para representar todo o conjunto uma abordagem ingênua e não indicando a faixa de CN onde as maiores precipitações são registradas. Na WS140 (figura 10g), por exemplo, os dez maiores eventos de precipitação registram CN's inferiores a 55, enquanto que na WS80 (figura 10h), os dez maiores eventos estão com CN's inferiores a 40. Também é importante citar o erro que a própria estimativa do  $\lambda$  obtido pelas Eq. 16 para a bacia WS140 e Eq. 17 na WS80, cujos coeficientes de determinação foram apenas de 0.66 e 0.73 respectivamente. A junção destes dois fatores pode ser contornada através de abordagens que já foram propostas por diversos autores para a melhora do método CN-SCS. Entre elas, acrescentar a influência de componentes como a umidade antecedente na bacia, intensidade e a duração da precipitação (SCHNEIDERMAN et al., 2007; SINGH et al., 2015; SHI et al., 2017; ZHANG et al., 2019).

A figura 12 apresenta o ajuste dos valores estimados em função dos observados para as duas bacias hidrográficas utilizando parâmetros de CN transferidos e  $\lambda$  obtido pelo índice de vegetação EVI2.

Figura 12 – Ajuste gráfico do volume de escoamento direto observado e estimada pelos três métodos ( $\lambda = 0.2$ ,  $\lambda = 0.05$  e  $\lambda$  (EVI2)) para as bacias hidrográficas WS140 (a) e WS80 (b) considerando a média dos CN observados nos eventos, e (c) e (d) para a mediana respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.4 CONCLUSÕES

Foram testados quatro abordagens diferentes para o método Curve Number-NCRS em duas pequenas bacias hidrográficas rurais do Brasil, utilizando duas relações de abstração inicial fixas  $\lambda = 0.2$  e  $\lambda = 0.05$  e duas variáveis de  $\lambda$  ( $\lambda$  variável e  $\lambda$  (EVI2) variável), em um total de 186 eventos de chuva/vazão.

As mudanças espaço-temporais do uso e ocupação do solo (LULC) afetaram diretamente o parâmetro abstração inicial ( $Ia$ ) do método Curve Number-NCRS, demonstrando o efeito da cobertura vegetal na parcela da interceptação da chuva. Verificou-se correlação forte entre as variações do LULC observadas via o índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index 2* e a  $Ia$  nos eventos investigados.

Os métodos com  $\lambda$  fixo não alcançaram resultado satisfatório com o CN determinado via Média aritmética e Mediana. O método  $\lambda$  (EVI2) variável, com a abstração inicial estimada pelo EVI2, teve resultado equivalente ao  $\lambda$  variável com a abstração observada no evento, sendo possível estimar o volume de escoamento direto das duas bacias com ambos. Por último os CNs obtidos pela foram transferidos para a bacia oposta, de modo a estimar a vazão em uma situação sem dados disponíveis para a análise do evento, apenas o método  $\lambda$  (EVI2) variável alcançou resultados satisfatórios (na bacia WS140), com o coeficiente de Nash-Sutcliff superior a 0.6 tanto para o CN da média aritmética quanto da média da bacia WS80.

A série de EVI2 é aqui apresentada como uma alternativa para a aplicação do método Curve Number-NCRS com  $\lambda$  variável, permitindo a representação do parâmetro responsável pela caracterização das condições iniciais da bacia antes do início da geração de escoamento e estritamente ligado com aspectos como o LULC, a abstração inicial. Ressalta-se a necessidade de uma investigação mais profundada na robustez do método, inclusive em um novo arranjo de valores para o CN visto que os mesmos tendem a valores mais baixos e dispersos nessa metodologia com  $\lambda$  variável, além de observações em regiões sob condições de clima e solo diferentes.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores Jimmy Walter Rasche Alvarez, da Universidade Nacional de Assunção - Paraguai, e André Pellegrini, da UTFPR, e ao doutorando da UFSM/UNIV-POITIERS Gilmar Luiz Schaefer. Os dados obtidos foram financiados pela FAPERGS, CNPq e Fepagro / FINEP.

## REFERÊNCIAS

AJMAL, M.; KIM, T. W. Quantifying Excess Stormwater Using SCS-CN-Based Rainfall Runoff Models and Different Curve Number Determination Methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 3, p. 144–153, 2015.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, n. 1–4, p. 94–101, 2009.

ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J. R., HANEY, E. B., AND NEITSCH, S. L. **SWAT 2012 input/output documentation**. Texas Water Resources Institute. 2013.

BABU, P. S.; MISHRA, S. Improved SCS-CN-Inspired Model. **Journal of Hydrologic Engineering**. 17. 2011.

BALTAS, E. A.; DERVOS, N. A.; MIMIKOU, M. A. Technical note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 6, p. 1825–1829, 2007.

BARTLETT, M. S., PAROLARI, A. J., MCDONNELL, J. J., AND PORPORATO, A. “Beyond the SCS-CN method: A theoretical framework for spatially lumped rainfall-runoff response.” *Water Resources Research*. 2016.

BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M.; WAGENER, T.; VIGLIONE, A.; SAVENIJE, H. **Runoff prediction in ungauged basins: Synthesis across processes, places and scales**. 2011.

CAPOANE, V.; RHEINHEIMER, D. DOS S. Análise qualitativa do uso e ocupação da terra no assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul (Qualitative analysis of the use and occupation of land in the Alvorada settlement, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul). **Revista NERA**, v. 20, p. 193–205, 2012.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining parameters for Eckhardt’s digital baseflow filter. **Hydrological Processes**, 2012.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Devel.**, v. 8, n. 7, p. 1991–2007, 2015.

CURVE NUMBER HYDROLOGY. **Curve Number Hydrology**. 2008.

DE JONG, S. M.; JETTEN, V. G. Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 5, p. 529–545, 2007.

DESHMUKH, D. S.; CHAUBE, U. C.; EKUBE HAILU, A.; ABERRA GUDETA, D.; TEGENE KASSA, M. Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 89–101, 2013.

DO VALLE JUNIOR, L. C. G.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. DE. Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed. **Brazilian Journal of Water Resources**, n. 24, p. 1–9, 2019.

DURÁN-BARROSO, P.; JAVIER, G.; VALDÉS, J. B. Sources of Uncertainty in the NRCS CN Model: recognition and solutions. **Hyd. Proc.**, v. 31, n. 22, p. 3898–3906, 2017.

ECKHARDT, K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. **Jou. of Hyd.**, v. 352, n. 1–2, p. 168–173, 2008.

ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes**, v. 19, n. 2, p. 507–515, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011.

FREITAS, R. M. DE; ARAI, E.; ADAMI, M.; et al. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p. 57–68, 2011.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 3, p. 609–620, 2000.

Garen, D. C., and Moore, D. S. “CURVE NUMBER HYDROLOGY IN WATER QUALITY MODELING: USES, ABUSES, AND FUTURE DIRECTIONS1.” **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 41(2), 377–388. 2005.

Gonzalez, A., Temimi, M., and Khanbilvardi, R. “Ajustement du nombre de courbe (CN-NRCS) pour tenir compte de l’effet de la végétation sur les processus hydrologiques.” **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, 60(4), 591–605. 2015.

GUPTA. H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, Vol. 4, n. 2, April 1999.

HAWKINS, R. H. Curve number method: time to think anew? **Journal of Hydrologic Engineering**. 19 (6) 1059–1059, 2014.



HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E. **Curve number hydrology: the state of practice**. Reston: American Society of Engineers, 2009.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25, 295–309, 1988.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Laboratório Virtual de Séries Temporais de Imagens de Sensoriamento Remoto. 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso em: 5 jan, 2018.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3833–3845, 2008.

JIN, Y.; YANG, X.; QIU, J.; et al. Remote Sensing-Based Biomass Estimation and Its Spatio-Temporal Variations in Temperate Grassland, Northern China. **Remote Sensing**, v. 6, p. 1496–1513, 2014.

JÚNIOR, W.; SANTOS, R.; MONTOANI, B.; et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221–222, p. 91–95, 2014.

LAL, M., MISHRA, S. K., AND KUMAR, M. “Reverification of antecedent moisture condition dependent runoff curve number formulae using experimental data of Indian watersheds.” **Catena**, Elsevier, 173(March 2017), 48–58. 2019.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 2007.

LIU, J.; ZHANG, Z.; ZHANG, M. Impacts of forest structure on precipitation interception and run-off generation in a semiarid region in northern China. **Hydrological Processes**, v. 32, n. 15, p. 2362–2376, 2018.

MÉNDEZ-BARROSO, L. A.; VIVONI, E. R.; WATTS, C. J.; RODRÍGUEZ, J. C. Seasonal and interannual relations between precipitation , surface soil moisture and vegetation dynamics in the North American monsoon region. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p. 59–70, 2009.

MIRALLES, D. G.; GASH, J. H.; HOLMES, T. R. H.; DE JEU, R. A. M.; DOLMAN, A. J. Global canopy interception from satellite observations. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 115, n. 16, p. 1–8, 2010.

MISHRA, S. K., JAIN, M. K., AND SINGH, V. P. “Evaluation of the SCS-CN-based model incorporating antecedent moisture.” *Water Resources Management*. 2004.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 13, p. 2755–2768, 2006.

MISHRA, S. K., SINGH, V. P. “Long-term hydrological simulation based on the Soil Conservation Service curve number.” **Hydrological Processes**. 2004.

MUCHE, M. E.; HUTCHINSON, S. L.; HUTCHINSON, J. M. S.; JOHNSTON, J. M. Phenology-adjusted dynamic curve number for improved hydrologic modeling. **Journal of Environmental Management**, v. 235, n. December 2018, p. 403–413, 2019.

NASH, J. E.; SUTCLUFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, 10(3): 282-290. 1970.

NEARING, M. A., LIU, B. Y., RISSE, L. M., AND ZHANG, X. “CURVE NUMBERS AND GREEN-AMPT EFFECTIVE HYDRAULIC CONDUCTIVITIES1.” **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 32(1), 125–136. 1996.

NRCS. “**Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds.**” USDA Natural Resource Conservation Service Conservation Engineering Division Technical Release 55. 1986.

NRCS. “**National Engineering Handbook:**” Part 630 Hydrology. 2004.

PELLEGRINI, A. Índices de desempenho ambiental e comportamento hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais. Tese (**Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2013. 108p.

PONCE, V. M., AND HAWKINS, R. H. “Runoff curve number: Has it reached maturity?” **Journal of Hydrologic Engineering**, 1(1), 11–18. 1996

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>, 2019.

RASCHE, J.W.A. Transferência de fósforo em pequenas bacias hidrográficas com predomínio de sistema plantio direto precário. Tese (**Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2014. 208p.

RAJIB, ADNAN & MERWADE, VENKATESH. Improving soil moisture accounting and streamflow prediction in SWAT by incorporating a modified time-dependent Curve Number method. **Hydrological Processes**. 30. 603-624. (2015).

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**. v. 36:1931-1935, 2006.

ROSSMAN, L. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics**. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-17/111, 2017.

SAHU, R. K., MISHRA, S. K., ELDHO, T. I., AND JAIN, M. K. “An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method.” **Hydrological Processes**, 21(21), 2872–2881. 2007.

SARTORI, M. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v. I, p. 27–49, 2003.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 2004.

SCHARFFENBERG, B., BARTLES, M., BRAUER, T., FLEMING, M., AND KARLOVITS, G. “**Hydrologic Modeling System HEC-HMS User’s Manual.**” US ARMY. 2018

SCHNEIDERMAN, E. M.; STEENHUIS, T. S.; THONGS, D. J.; et al. Incorporating variável source area hydrology into a curve-number-based watershed model. **Hydrological Processes**, v. 21, n. July, p. 3420–3430, 2007.

SHI, W.; HUANG, M.; GONGADZE, K.; WU, L. A Modified SCS-CN Method Incorporating Storm Duration and Antecedent Soil Moisture Estimation for Runoff Prediction. **Water Resources Management**, v. 31, n. 5, p. 1713–1727, 2017. Water Resources Management.

SHI, Z. H.; CHEN, L. D.; FANG, N. F.; QIN, D. F.; CAI, C. F. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, v. 77, n. 1, p. 1–7, 2009.

SINGH, P. K.; MISHRA, S. K.; BERNDTSSON, R.; JAIN, M. K.; PANDEY, R. P. Development of a Modified SMA Based MSCS-CN Model for Runoff Estimation. **Water Resources Management**, v. 29, n. 11, p. 4111–4127, 2015.

Soil Conservation Service Engineering Division. “Section 4: Hydrology.” National Engineering Handbook. 1972.

STEGLICH, E. M.; OSORIO, J.; DORO, L.; JEONG, J.; WILLIAMS, J. R. **Agricultural Policy / Environmental eXtender Model – APEX: User’s Manual Version 1501.** 2018.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R. Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, 64 – 70, 2015.

TASSI, R., LORENZINI, F., AND ALLASIA, D. G. “Tool to address green roof widespread implementation effect in flood characteristics for water management planning.” **IAHS-AISH Proceedings and Reports.** 2015.

TASSI, R., TASSINARI, L. C. S., ALLASIA, D. G., AND PERSCH, C. G. “Green roof: a sustainable alternative for stormwater management [in Portuguese: Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais].” *Ambiente Construído*, 14(1), 139–154. 2014.

TEDELA, NEGUSSIE H.; MCCUTCHEON, STEVEN C.; RASMUSSEN, TODD C.; HAWKINS, RICHARD H.; SWANK, WAYNE T.; CAMPBELL, JOHN L.; ADAMS, MARY BETH; JACKSON, C. RHETT; TOLLNER, E. W. Runoff Curve Numbers for 10

Small Forested Watersheds in the Mountains of the Eastern United States. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 5, p. 1188–1198, 2012.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environment**, 8 (2), 127–150. 1979.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Natural Resources Conservation Service – NRCS. Part 630: hydrology national engineering handbook. Washington: USDA-NRCS, 1997.

VERMA, S., MISHRA, S. K., SINGH, A., SINGH, P. K., AND VERMA, R. K. “An enhanced SMA based SCS-CN inspired model for watershed runoff prediction.” **Environmental Earth Sciences**. 2017

WILLIAMS, J. R., IZAURRALDE, R. C., AND STEGLICH, E. M. “**Agricultural policy/environmental extender model.**” **Theoretical** Documentation, Version, 604, 2008–2017. 2008.

WOODWARD, D. E.; HAWKINS, R. H.; JIANG, R.; HJELMFELT JUNIOR, A. T.; VAN MULLEM, J. A.; QUAN, D. Q. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: **2003 World Water And Environmental Resources Congress**, 2003, Philadelphia. Proceedings Reston: ASCE, 2003. p. 1-10

YOUNG, R. A., ONSTAD, C. A., BOSCH, D. D., AND ANDERSON, W. P. “AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds.” *J. Soil Water Conservat.* 1989.

YOUNG, T., CAMERON, D. D., SORRILL, J., EDWARDS, T., AND PHOENIX, G. K. “Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance.” *Urban Forestry and Urban Greening*, Elsevier GmbH., 13(3), 507–516. 2014.

YUAN, Y., NIE, W., MCCUTCHEON, S. C., AND TAGUAS, E. V. (2014). “Initial abstraction and curve numbers for semiarid watersheds in Southeastern Arizona.” **Hydrological Processes**, 28(3), 774–783. 2014.

ZHANG, D.; LIN, Q.; CHEN, X.; CHAI, T. Improved Curve Number Estimation in SWAT by Reflecting the Effect of Rainfall Intensity on Runoff Generation. **Water**, v. 11, n. 163, p. 17, 2019.

ZHANG, Y.; CHIEW, F. H. S.; LI, M.; POST, D. Predicting runoff signatures using regression and hydrological modelling approaches. **Water Resources Research**, v. 54, n. 10, 2018.

#### 4. ARTIGO 2 – EFEITOS DA QUALIDADE DE INFORMAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM A TRANSFERÊNCIA DE PARÂMETROS DO MODELO SWAT ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

##### Resumo

Uma das abordagens com maior potencial na estimativa de variáveis hidrológicas em bacias hidrográficas sem dados é o uso de modelos hidrológicos, principalmente através da transferência de informações entre bacias em condições edafoclimáticas semelhantes. Modelos hidrológicos distribuídos no espaço destacam-se por sua capacidade em representar os processos dentro da bacia em grande detalhamento, porém ainda existem lacunas quanto ao grau de descrição mínimo necessário na descrição dos processos e atributos nos modelos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi realizar a simulação hidrológica de vazão em duas bacias hidrográficas pareadas, denominadas WS80 (0.8 km<sup>2</sup>) e WS140 (1.4 km<sup>2</sup>), localizadas em Júlio de Castilhos – RS - Brasil, através do modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). O modelo foi calibrado usando parâmetros definidos sob diferentes escalas de informação de solo (SOIL) e de uso e ocupação de solo (*LULC*) e transferindo os resultados através de um estudo de bacias pareadas (*Proxy-basin test*), executando o modelo na bacia sem dados. Foram criados dois cenários de descrição de solo e *LULC*: (a) um genérico, baseado no banco de dados padrão do modelo SWAT e literatura e (b) outro cenário com qualidade superior chamado de fino, que inicia através da caracterização da vegetação em imagem de alta resolução e que captura as variações espaço/temporais do uso do solo, com auxílio índice de vegetação *EVI2* e, ainda incorpora análises físicas de solo coletadas a campo. Os resultados demonstraram que há ganhos significativos na transferência de informação utilizando uma maior resolução temporal nos dados de *LULC* com uma menor influência na descrição de solo utilizada. Nesse sentido, o *EVI2* mostrou-se uma ferramenta importante para captar as variações de *LULC* do sistema grão-animal, fenômeno este já conhecido por pesquisadores da área agrônoma mas ainda pouco explorado no campo da hidrologia.

##### 4.1 INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos e a mitigação de riscos naturais em bacias hidrográficas não monitoradas dependem fortemente de estimativas de escoamento superficial confiáveis que são, muitas vezes previstas em modelos chuva-vazão (SIVAPALAN et al., 2003). A falta de dados mensurados numa bacia impede a calibração dos parâmetros dos modelos, para tal, diversas abordagens foram desenvolvidas com a finalidade de regionalização hidrológica (POOL; VIVIROLI; SEIBERT, 2017). A regionalização

hidrológica baseia-se fundamentalmente na hipótese de similaridade entre os processos hidrológicos das bacias. Assume-se que bacias com condições geomorfológicas, de solo, de uso e ocupação da terra e dispostas sobre condições climáticas semelhantes tendem a compartilhar os mesmos mecanismos na geração de escoamento. Isso permitiria a utilização de dados de bacias monitoradas para calibrar modelos, cujos parâmetros são assim transferidos para bacias não monitoradas ou com falta de dados (RAZAVI; COULIBALY, 2013; SMAKHTIN, 2001; BLOSCHL; SIVAPALAN, 1995).

Na transferência de parâmetros calibrados entre bacias, destacam-se três diferentes abordagens: (a) baseado na semelhança física, onde a transferência de parâmetros é feita em bacias com atributos físicos semelhantes (*e.g.*, área de captação, densidade de drenagem, declividade média); (b) baseado em regressão, onde a partir de uma grande amostragem de bacias são desenvolvidas relações entre os parâmetros dos modelos calibrados em função das características físicas e climáticas das bacias, sendo possível estimar os valores dos parâmetros em locais sem dados utilizando apenas as relações estabelecidas; (c) baseado na proximidade espacial das bacias, onde a bacia doadora e a receptora dos parâmetros são geograficamente próximas e, teoricamente, estão sob condições edafoclimáticas homogêneas (MERZ; BLÖSCHL; PARAJKA, 2006; RAZAVI; COULIBALY, 2013; SWAIN; PATRA, 2017).

Em termos de desempenho na simulação de vazão, os resultados dos estudos que compararam essas três técnicas de regionalização são contraditórios. Nos trabalhos de Clark, Ahn e Palmer (2017) e de Gitau e Chaubey (2010), a regionalização por regressão dos parâmetros alcançou o melhor desempenho frente às outras abordagens. Por outro lado, a regionalização baseada na proximidade espacial teve resultado superior em outras comparações como as de Bao *et al.* (2012), Merz e Blöschl (2004) e Swain e Patra (2017). As diferenças podem ser explicadas por resultados como os de Merz, Blöschl e Parajka (2006) e Oudin *et al.* (2008), que indicam que as métricas utilizadas para discretizar os atributos das bacias nem sempre refletem os processos hidrológicos dominantes. Por vezes, atributos importantes não são utilizados, ou ainda não foram levantados critérios para definir o grau de importância na caracterização de determinado atributo, principalmente nas técnicas de regionalização que utilizam a transferência de conjuntos de parâmetros de modelos. Assim, para todos os efeitos, os processos hidrológicos, a discretização espaço-temporal dos dados da bacia e a representação matemática feita pelos modelos devem estar em escalas equivalentes (BLOSCHL; SIVAPALAN, 1995).

Os modelos hidrológicos baseados em processos físicos distribuídos e semi-distribuídos permitem representar atributos obtidos *in situ* nas bacias, como características do solo, além de operarem em diferentes resoluções espaciais, o que pode ser vantagem na caracterização das bacias hidrográficas.

O modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) é um caso do modelo hidrológico semi-distribuído baseado em processos físicos, tendo sido elaborado junto ao *United States Department of Agriculture (USDA), Agricultural Research Service (ARS)* no início da década de 1990 (ARNOLD et al., 1998). Seu desenvolvimento teve como foco a predição dos impactos oriundos do manejo da terra (produção de sedimentos e transferências de poluentes) sob os recursos hídricos, em escala de bacia hidrográfica (ARNOLD et al., 2015).

As aplicações do modelo SWAT em bacias sem dados costumam incluir as variações espaciais de uso e ocupação da terra (*LULC* do inglês - *Land Use Land Cover*) por meio de atributos como a descrição dos usos de área agrícola e área urbana (SANTOS et al. 2018; SWAIN & PATRA 2017; e GITAU & CHAUBEY, 2010). Por outro lado, as variações temporais são incorporadas apenas nos estudos que envolvem mudanças profundas de *LULC*, como o desmatamento e a urbanização, geralmente em um passo de tempo superior a 10 anos (WANG & KALIN, 2011). Nesse caso, há subutilização das ferramentas do modelo SWAT, não sendo caracterizada a variação sazonal do *LULC*, que é extremamente dinâmico em bacias rurais.

Esta situação ocorre nas áreas agrícolas da região subtropical brasileira (aproximadamente 13 milhões de hectares), que passa por uma intensa variação de *LULC* anualmente. Durante o verão são predominantes as culturas de soja e milho (*Glycine max* e *Zea mays*), ao passo que no inverno predominam cereais (trigo - *Triticum aestivum*, cevada - *Hordeum vulgare* e aveia branca - *Avena sativa*). No entanto, a maior parte das terras cultivadas no verão permanece em pousio hibernar, com baixa cobertura do solo proporcionada pelo crescimento espontâneo do azevém (*Lolium multiflorum* ou com sobressemeadura da aveia forrageira (*Avena strigosa*). A inclusão de animais para produção de leite em áreas de produção de grãos de sequeiro em sistema plantio direto induz uma série de impactos negativos nos atributos físicos do solo, como o aumento da densidade, diminuição da porosidade, capacidade de retenção de água e taxa de infiltração (DE ANDRADE BONETTI et al., 2019; DE MORAES et al., 2014; FLORES et al., 2007), e que podem desencadear alterações significativas no processo de geração de escoamento das bacias hidrográficas (ALAOUI et al., 2018).

Fica evidente, portanto, a necessidade de obter o mapeamento temporal do *LULC* para sua correta simulação. Dados de sensores remotos espaciais e temporais têm sido amplamente utilizados para construir modelos de ecossistema baseados nas características da vegetação (FOODY e CURRAN, 1994; FRANKLIN, 1995; KUSTAS; NORMAN, 1996; MELESSEET al., 2007; STOCKLI et al., 2008). O Índice de Vegetação Aprimorada ou Enhanced Vegetation Index de dois parâmetros (EVI2) é uma dessas variáveis contínuas que se correlaciona bem com vários componentes da dinâmica do ecossistema, como índice de área foliar, biomassa, cobertura de dossel e a fração de radiação absorvida por fotossíntese (Boeghetal., 2002; Huete et al. , 2006; JIANG et al., 2008; FREITAS et al., 2011), além de ser menos propenso a saturação das nuvens tanto em regiões temperadas como nos trópicos, tornando-o mais eficiente em relação a outros índices de vegetação amplamente utilizados, como o NDVI (Huete et al., 2006). É uma das melhores alternativas em locais onde as técnicas discretas de classificação de sensoriamento remoto falham em capturar mudanças sutis em uma única classe.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo avaliar como a quantidade, a qualidade, a escala e a variabilidade espaço-temporal dos dados de entrada do modelo interferem na transferência de conjuntos de parâmetros entre bacias próximas quando utilizado o modelo SWAT.

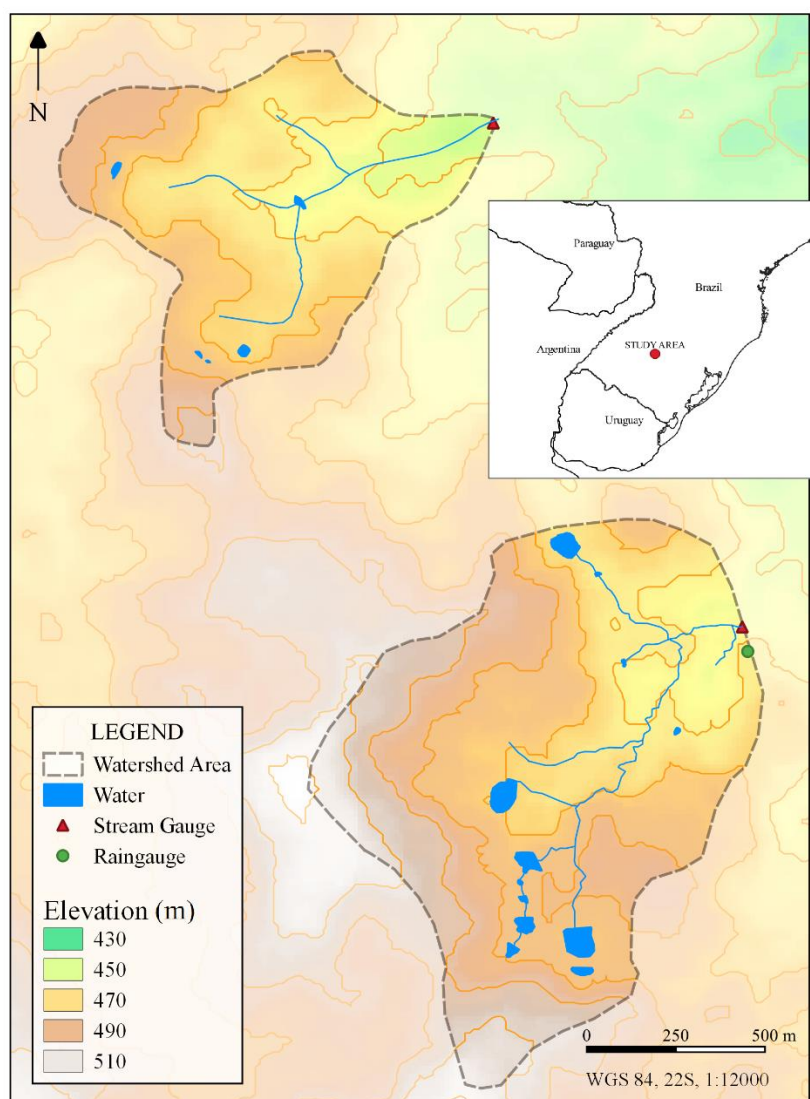
## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 Área de estudo

Usaram-se dados de chuva/vazão de duas bacias hidrográficas pareadas (WS80 e WS140) com 0.80 km<sup>2</sup> e 1.39 km<sup>2</sup> localizadas no interior do município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil (Figura 1). As duas bacias são tributárias da bacia hidrográfica do rio Jacuí, uma das bacias fluviais mais cultivada no Sul do Brasil.



Figura 1- Localização das bacias em estudo, altimetria (ALOS Data Consortium - 12.5 m), hidrografia e estações de hidrometeorológicas das bacias WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O relevo da área é caracterizado por colinas suaves, com pouca inclinação e altitude variando de 440 a 510 m, o clima de acordo com a classificação clássica de Köppen, é subtropical úmido Cfa, com verões úmidos com temperaturas que frequentemente ultrapassam 30 ° C, com a média baixa de 19 ° C. No inverno, as temperaturas atingem 19 ° C e as baixas geralmente ficam inferiores a 9 ° C, chegando a 5 ° C, mas a neve é uma ocorrência rara. A precipitação média anual é de 1688 mm, distribuída ao longo do ano, mas com chuvas mais

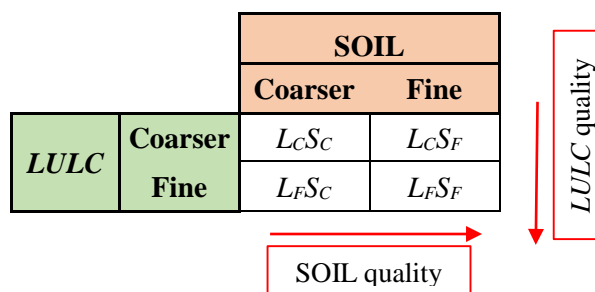
intensas (convectivas) durante a primavera e o verão e frontais durante o inverno (Tassi et al. 2014, 2015).

Os dados de chuva/vazão foram disponibilizados por três projetos de pesquisa com recursos financeiros obtidos na FAPERGS, CNPq e FEPAGRO / FINEP. As chuvas e a vazão foram monitoradas por 36 meses na WS140 (jan2010 a dez2012) e 29 meses na WS80 (jul2010 a dez2012) em intervalos de 5 minutos. A vazão foi monitorada usando calhas Parshall e um sensor transdutor de pressão em cada uma das bacias hidrográficas. É importante notar que o escoamento diário entre as bacias hidrográficas WS80 e WS140 é fortemente correlacionado, com um coeficiente de determinação de 0.93 para o período monitorado, 2010-2012 (Pellegrini, 2003; Alvarez, 2004). A precipitação foi monitorada por uma estação meteorológica automática e com um pluviômetro, ambos na bacia hidrográfica do WS140.

#### 4.2.2 Escala qualitativa de informação

Para testar os efeitos que a descrição de informação dos dados de entrada de solo e de *LULC* causam na transposição dos parâmetros do modelo SWAT, foram montados dois cenários para cada conjunto de dados de entrada (dados genéricos (Coarser) e dados finos (Fine)). Os conjuntos foram cruzados entre si, resultando em 4 cenários de calibração numa bacia (figura 2) e validados/transferidos na outra bacia.

Figura 2 - Cenários de descrição dos dados de entrada do modelo SWAT para as bacias WS80 e WS140.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.1 Dados de caracterização do solo

Os parâmetros utilizados no modelo SWAT foram os atributos hidropedológicos: textura do solo, condutividade hidráulica, densidade, microporosidade, macroporosidade, porosidade total, capacidade de armazenamento de água.

Esses parâmetros foram obtidos em duas escalas de informação, a primeira, considerada grosseira (sufixo  $S_C$ ), extraídos do banco de dados do Boletim Técnico n° 30 (BRASIL, 1973) acessado no portal Sistema de Informações de Solos Brasileiros (EMBRAPA, 2018). A fim de representar os atributos físicos do solo de maneira genérica e com os dados com maior facilidade de obtenção, neste cenário foi considerada uma única classe de solo para ambas as bacias, conforme Tabela 1.

A segunda escala de informação, considerada fina (sufixo  $S_F$ ), foi montada com dados coletados a campo nas duas bacias hidrográficas, compreendendo a parâmetros físicos do solo, como a textura, densidade, macro e microporosidade. A coleta de solo foi feita em pontos distribuídos aleatoriamente, com 16 pontos na WS80 e 27 na WS140. O solo foi coletado com estrutura preservada na camada 0.00-0.15 m, em triplicata, utilizando cilindros metálicos com 0.04 m de altura e 0.057 m de diâmetro.

Em laboratório, o solo foi saturado via capilaridade durante 48 horas e o cilindro pesado, disposto em coluna de areia sob tensão de 6 kPa por 48 horas e pesado novamente (REINERT & REICHERT, 2006). Finalmente, o solo foi seco em estufa a 105 ° C por 48 h. A porosidade total foi considerada como o volume de água na saturação, a microporosidade como o volume de água após a tensão de 6 kPa, a macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e microporosidade, e a densidade calculada pela massa seca do solo dividida pelo volume do cilindro conforme indicações de EMBRAPA (2011). A determinação do teor de argila ( $\Phi < 0,002$  mm), silte ( $0,002 \leq \Phi < 0,05$  mm) e areia ( $0,05 \leq \Phi < 2,0$  mm) foi feita com o método da pipeta, utilizando NaOH 1,0 % por 12 horas em repouso e seguida por 4 horas de agitação (Suzuki et al., 2015).

Para os dois cenários a capacidade de armazenamento de água do solo foi estimado a partir das informações existentes com auxílio de equações de pedotransferência do solo, conforme apresentado por (SAXTON, RAWLS, 2006), este parâmetro foi descrito em valores médios para cada tipo de solo na espacialização demonstrada na Figura 3.

Tabela 1 - Parâmetros físicos da classe de solo utilizado no cenário grosseiro (sufixo  $S_c$ ) nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Profundidade	Grupo Textural	Argila	Silte	Areia
		(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )
0-0.5	<b>Clay</b>	40.7	36	23.3
0.5-1.5	<b>Clay</b>	63.5	29	12.5
1.5-3.0	<b>Loam</b>	10	42	48

Fonte: Adaptado de BRASIL (1973).

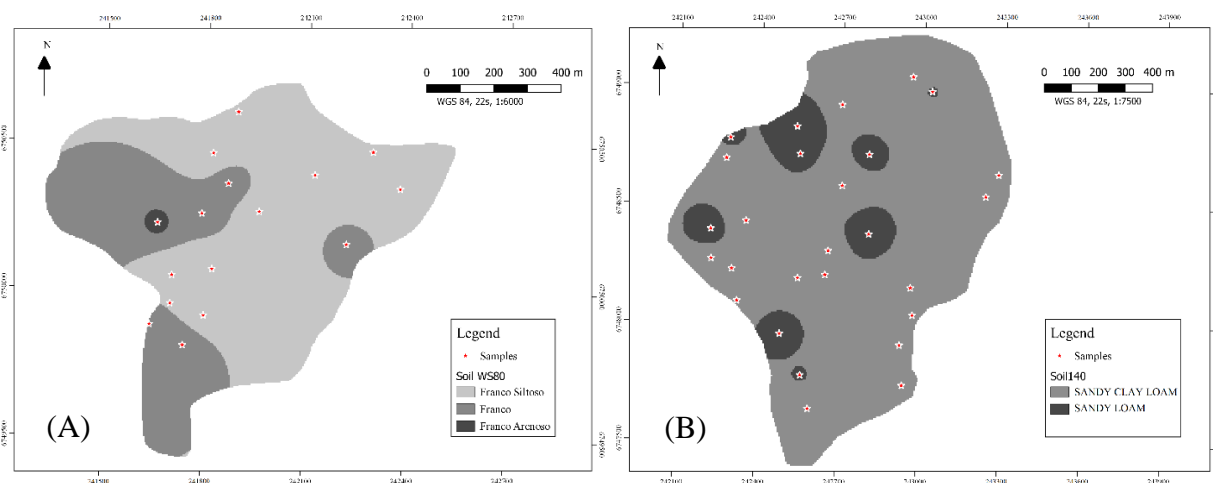
A espacialização dos atributos físicos do solo foi feita por interpolação no ambiente do software Qgis 3.8 (Qgis, 2019). Utilizou-se o módulo *Soil Texture Classification* do software SAGA (CONRAD et al., 2015) (disponível em: <<http://www.saga-gis.org/en/index.html>>), que se baseia nos grupos texturais catalogados pelo United States Department of Agriculture – USDA (disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/>>), a nomenclatura original do USDA foi mantida em todo o trabalho. Os resultados médios de cada grupo estão expressos na tabela 2 e nas figuras 3(a) e 3(b).

Tabela 2 - Parâmetros físicos dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Grupo Textural	Clay	Silt	Sand	Bulk Density	Total Porosity	Microporosity	Macroporosity
	(g kg)	(g kg)	(g kg)	(Mg m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
<b>Silt Loam</b>	8.7	56.2	35.1	1.63	0.39	0.36	0.02
<b>Loam</b>	10.5	47.5	42.0	1.67	0.37	0.34	0.02
<b>Sandy Loam</b>	18.3	17.4	64.3	1.6	0.38	0.33	0.05
<b>Sandy Clay Loam</b>	22.1	16.6	61.3	1.52	0.42	0.35	0.07

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Distribuição espacial dos grupos texturais dos solos da camada 0.00-0.15 m ocorrentes nas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, WS80 (A) e WS140 (B).



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.2 Dados de uso e ocupação do solo

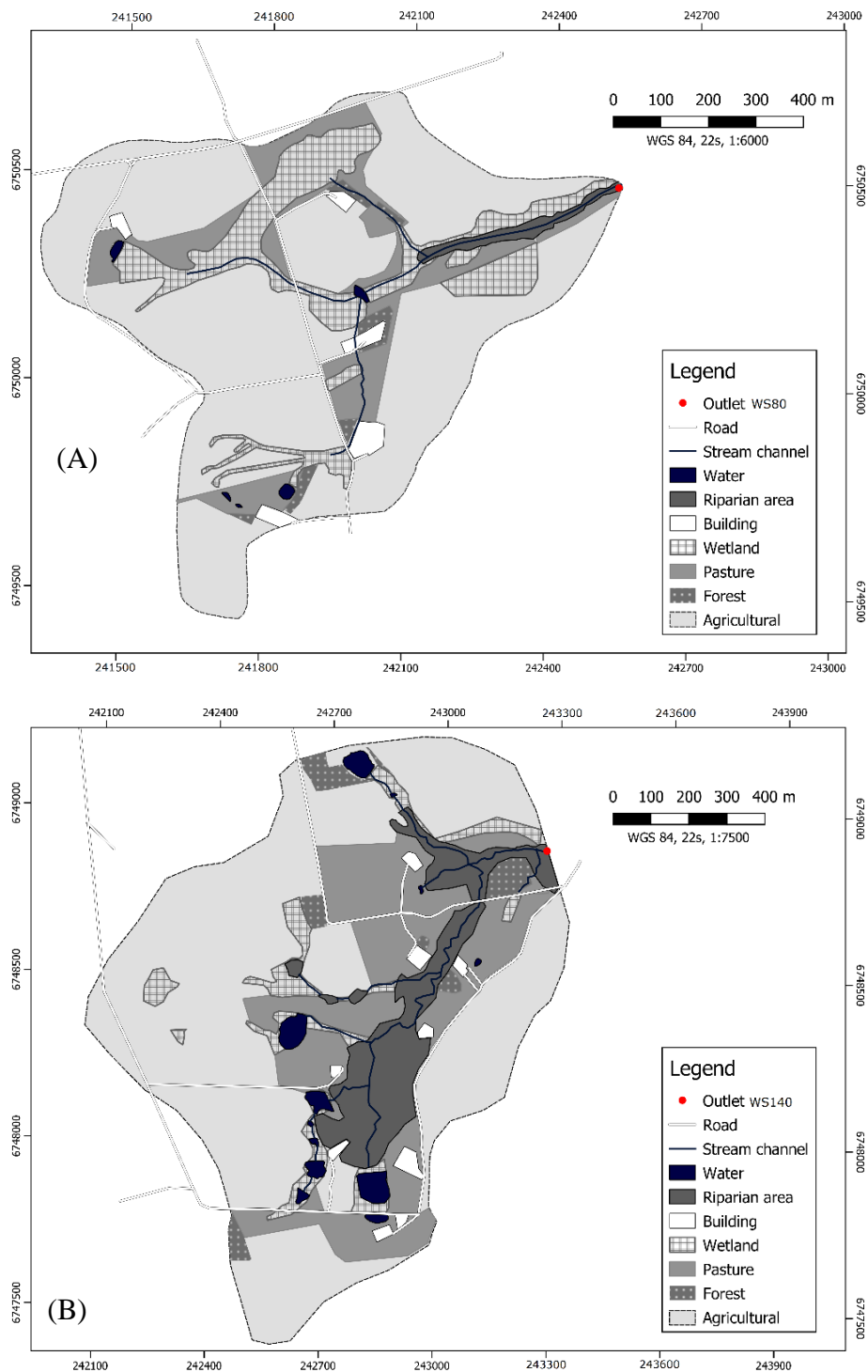
Os principais usos da terra das duas bacias hidrográficas (Tabela 3) são provindos da agricultura familiar, com produção de grãos de sequeiro na primavera/verão (*Glycine max* e *Zea mays*) e gramíneas (*Avena strigosa* e *Lolium multiflorum*) para pastagem de gado leiteiro no inverno (CAPOANE; RHEINHEIMER, 2012). As principais diferenças no *LULC* entre as bacias estão nas áreas de mata ciliar e nas áreas úmidas (Figuras 4 (A) E 4 (B)).

Tabela 3 - Principais usos da terra, média dos anos 2010 a 2012, nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B).

<i>LULC</i>	WS80	WS140
	..... % .....	
<i>Áreas Agrícolas</i>	69.0	58.8
<i>Mata Ciliar</i>	1.4	10.4
<i>Reflorestamento</i>	1.3	2.3
<i>Áreas de Pastagem</i>	11.9	20.6
<i>Áreas Construídas</i>	1.5	1.2
<i>Água</i>	0.2	1.9
<i>Áreas úmidas</i>	14.7	4.8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - Distribuição espacial dos usos dos solos, média dos anos 2010 a 2012, das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. WS80 (A) e WS140 (B).



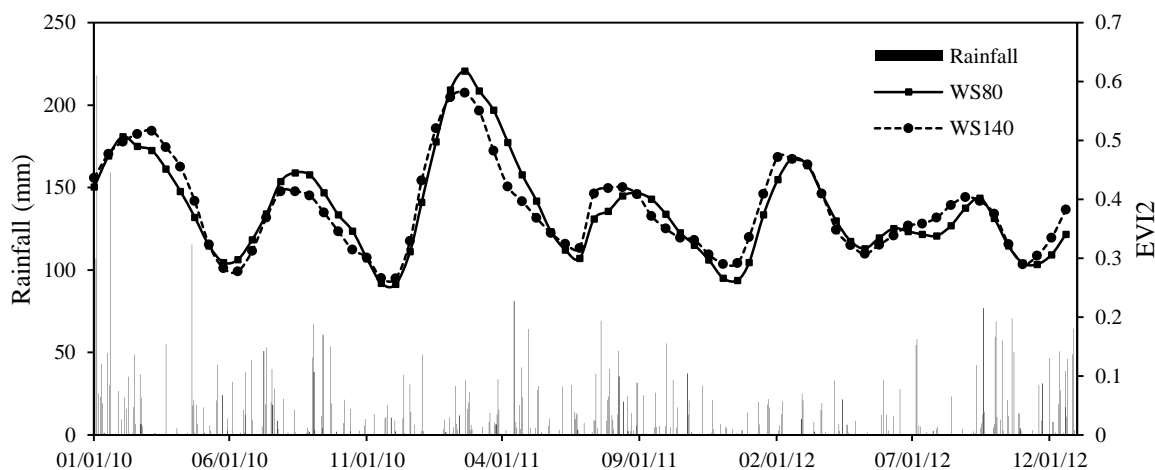
Fonte: Adaptado de CAPOANNE (2011) e imagens Google Earth.

Para o cenário de descrição grosseira de *LULC* (sufixo *L<sub>C</sub>*) foram utilizados os parâmetros padrões do banco de dados do modelo SWAT, não sendo descritos as datas de semeadura e de colheita e as rotações de cultura; apenas definidas as áreas dos usos demonstrados nas Figura 4 (A) e 4 (B).

No cenário com descrição fina de *LULC* (sufixo *L<sub>F</sub>*), as datas de plantio e de colheita das culturas das áreas *Pasture* e *Agricultural* (Figura 4 (A) e 4 (B)) foram estimados usando o índice de vegetação EVI2, sendo os períodos de menor leitura de EVI2 as épocas sem cobertura do solo, o início da curva ascendente as datas de plantio e o término da curva decrescente a colheita. O EVI2 foi calculado a partir do produto MOD13 derivado do satélite MODIS com resolução espacial de 250 m e temporal de 16 dias. A série de dados global do EVI2 previamente processada e suavizada utilizando filtros de onda (FREITAS et al., 2011), é disponibilizada pelo laboratório virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018). Como a resolução temporal é de 16 dias, as datas de plantio e colheita possuem uma margem de erro de  $\pm 8$  dias, o que foi considerado adequado para esse estudo.

O grid de EVI2 de 17 células na bacia WS80 totalizaram 918 imagens ao longo da série de dados, e 24 na WS140, com um total de 1656 imagens. Foram escolhidas todas as células que incidissem sobre as bacias com no mínimo 50% de sua área. A variação temporal do EVI2 foi obtida através da média de todas as células para cada passagem do satélite, em cada respectivo *LULC*. A figura 5 apresenta a série média de EVI2 de 2010 a 2012 nas duas bacias, e a precipitação ocorrida no período.

Figura 5 - Série de EVI2 e precipitação de 2010 a 2012 das duas bacias (WS140 e WS80) monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.2.3 Configuração do Modelo hidrológico

O modelo SWAT foi usado em sua interface ArcSWAT, versão 2012 x 64bits. Foi utilizando um limiar de 8 hectares, que resultou em 5 sub-bacias e 66 unidades de resposta hidrológica (HRUs) para WS80; e 13 sub-bacias, com 96 HRUs na WS140.

Para a definição das HRUs foi utilizado um limiar de 2 % nas análises do tipo de solo, da topografia e do *LULC* para as duas bacias hidrográficas; a área das HRU's que ficam abaixo do limiar mínimo são redistribuídas automaticamente pelo modelo entre as demais restantes. Os cenários com melhor descrição dos dados de solo e resultaram em um maior número de HRUs, devido as bacias possuírem mais que uma classe de solo: ficando 99 HRUs para a bacia WS80 e 262 HRUs para a WS140.

A evapotranspiração foi estimada pelo método de Priestley-Taylor (1972). Para a infiltração foi usado o método de Green-Ampt (Green; Ampt, 1911), devido a exigências do modelo, uma vez que os dados hidrometeorológicos estavam em intervalo de tempo subsidiário. No entanto, uma vez que as tabelas que descrevem o parâmetro CN do método da Curva Número (SCS, 1972) para diferentes *LULC* e tipos de solo são muito mais completas que as disponíveis para o parâmetro de condutividade hidráulica de Green-Ampt, diversas relações foram propostas vinculando os dois (Risse et al., 1995; Zhang et al., 1995; Nearing et al., 1996), o modelo SWAT utiliza a relação de Nearing et al., (1996) para ajustar os parâmetros de Green-Ampt com valores de CN para as variações de uso do solo ao longo do tempo (Eq. 1).

$$K_e = \frac{56.82 \times K_{sat}^{0.286}}{1 + 0.051 \times \exp(0.062 \times CN)} - 2 \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo  $K_e$  a condutividade hidráulica do método de Green-Ampt,  $K_{sat}$  a condutividade hidráulica saturada (parâmetro *SOL\_K* do SWAT); *CN* o parâmetro da Curva Número do NCRS (parâmetro *CN2* do SWAT).

Os dados de chuva vazão do ano de 2010 foram utilizados para aquecimento do modelo, sendo as simulações de calibração e transferência efetuados com os dados de 2011/2012. Para a calibração foram utilizados até 18 parâmetros (tabela 3), com base no processo de geração de escoamento, englobando todos os processos do balanço hídrico: precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial, escoamento subsuperficial lateral e



perdas para o aquífero profundo. Adicionalmente, foram calibrados outros parâmetros hidráulicos: (a) que fazem parte do escoamento na calha dos cursos d'água, (b) que norteiam as condições iniciais da bacia hidrográfica e (c) alguns parâmetros empíricos, que o próprio modelo SWAT utiliza para compensar a transferência de volumes de água entre determinados meios (parâmetros de contorno). Estes parâmetros, juntos com o parâmetro do método CN, apresentam elevada sensibilidade na simulação hidrológica do modelo, principalmente por estarem no contorno de todos os processos, os quais são extremamente difíceis de serem replicados de forma analítica. Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros, sua descrição e o intervalo de calibração utilizados.

Tabela 4 - Descrição e intervalos iniciais dos parâmetros utilizados na calibração do modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Descrição do Parâmetro	Var <sup>1</sup>	Nome	Intervalos	
Espessura da camadas do solo	R	<i>SOL_Z.sol</i>	-0.2	0.2
Água disponível no solo	R	<i>SOL_AWC.sol</i>	-0.2	0.2
Condutividade hidráulica saturada	R	<i>SOL_K.sol</i>	-0.2	0.2
CN inicial	R	<i>CN2.mgt</i>	-0.2	0.2
Coefficiente de atraso do escoamento superficial	V	<i>SURLAG.bsn</i>	0.1	1
Água do aquífero mínima para haver escoamento de base	V	<i>GWQMN.gw</i>	0	5000
Coefficiente de atraso do escoamento de base	V	<i>GW_DELAY.gw</i>	0	500
Fator alpha do escoamento de base	V	<i>ALPHA_BF.gw</i>	0.01	1
Profundidade da água no aquífero superficial	V	<i>SHALLST.gw</i>	0	5000
Água mínima do aquífero necessária para evapotranspirar	V	<i>REVAPMN.gw</i>	0	500
Fração de percolação para o aquífero profundo	V	<i>RCHRG_DP.gw</i>	0	1
Coefficiente de evapotranspiração do aquífero	V	<i>GW_REVAP.gw</i>	0.02	2
Coefficiente de Manning no fluxo superficial	V	<i>OV_N.hru</i>	0.01	0.3
Fator de compensação de evaporação do solo	V	<i>ESCO.hru</i>	0	1
Condutividade hidráulica do curso d'água	V	<i>CH_K2.rte</i>	0	0.3
Coefficiente de Manning no curso d'água	V	<i>CH_N2.rte</i>	-0.01	0.3
CN da operação <sup>2</sup>	V	<i>CNOP.mgt<sup>2</sup></i>	-0.2	0.2
Coefficiente de eficiência da colheita <sup>2</sup>	V	<i>HARVEFF.mgt<sup>2</sup></i>	0	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>1</sup> O prefixo "R" é dos parâmetros calibrados com alteração relativa e, "V" os parâmetro são redefinidos com novos valores.

<sup>2</sup> Parâmetros adicionais utilizados nos cenários de descrição fina do LULC ( $L_F$ ).

Para os cenários que contiveram a descrição fina de *LULC* foram calibrados os parâmetros adicionais que descrevem o valor do CN nas operações de plantio (*CNOP*) e o coeficiente de eficiência da operação de colheita da biomassa/grão (*HARVEFF*). Esses dois últimos parâmetros podem ser utilizados devido ao detalhamento de *LULC* do cenário, que contou com datas de plantio/colheita e rotação de cultura utilizada, sendo nas áreas agrícolas introduzidas as culturas de verão (*Glycine max* e *Zea mays*) e gramíneas para pastagem (*Avena strigosa* e *Lolium multiflorum*) nessas mesmas áreas agrícolas no período de inverno.

#### **4.2.4 Transferência de Informações**

Cada um dos cenários calibrados nas duas bacias foi validado na outra bacia, utilizando o mesmo conjunto de parâmetros, sem alterações nos intervalos finais (Fitted Values) obtidos na calibração; essas simulações foram denominadas de transferidas. Esse método é semelhante ao *proxy-basin test* descrito por Klemeš (1986) e, também, pode ser considerado como uma técnica de validação para o modelo SWAT (ARNOLD *et al.*, 2012).

#### **4.2.5 Incertezas e Sensibilidade do Modelo**

O software SWAT-CUP (Calibration and Uncertainty Procedures), através do algoritmo SUFI-2, foi utilizado na calibração do escoamento total das duas bacias hidrográficas. O SUFI-2 é um algoritmo de calibração estocástica mono-objetivo capaz de ajudar a identificar erros e incertezas associadas aos parâmetros do modelo. A análise de incertezas do SWAT-CUP foi apresentada na forma de uma distribuição com 95 % de probabilidade de representação dos dados de entrada (95PPU) (ROUHOLAHNEJAD *et al.*, 2012). A forma numérica da análise de incertezas foi feita por meio dos parâmetros *r-factor* e *p-factor*, sendo representantes da espessura e percentual da curva envelope 95PPU sob os dados observados, respectivamente. A análise de sensibilidade dos parâmetros foi feita através do SWAT-CUP, utilizando uma distribuição *t-stat* para estimar a influência de cada parâmetro na saída do modelo. A função objetiva escolhida foi do parâmetro Nash-Sutcliff (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

#### 4.2.6 Avaliação de performance do modelo

Os indicadores estatísticos utilizados para avaliar a performance do método CN, tanto para calibração e quanto para validação foram o desvio percentual (PBIAS) e o coeficiente eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). O PBIAS (Equação (2) mede a tendência média de valores simulados serem menores ou maiores do que os observados (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999), enquanto o NSE (Equação (3) determina a magnitude da variância residual dos dados simulados em comparação com a variância dos dados observados (NASH; SUTCLIFFE, 1970). O ranking de performance dos resultados do modelo SWAT foi estabelecido seguindo o descrito por Moriasi *et al.*, 2007.

$$PBIAS = 100 \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - Q_{Sim})_i}{\sum_{i=1}^n Q_{Obs(i)}} \right) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$NSE = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - Q_{Sim})_i^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs(i)} - \bar{Q}_{Sim})_i^2} \right) \quad \text{Eq. (3)}$$

Sendo,  $Q_{Obs}$  os valores de vazão observados,  $Q_{Sim}$  os valores simulados,  $\bar{Q}_{Sim}$  a média dos valores simulados,  $\bar{Q}_{Obs}$  a média dos valores observados, e  $i$  é o enésimo valor do dado.

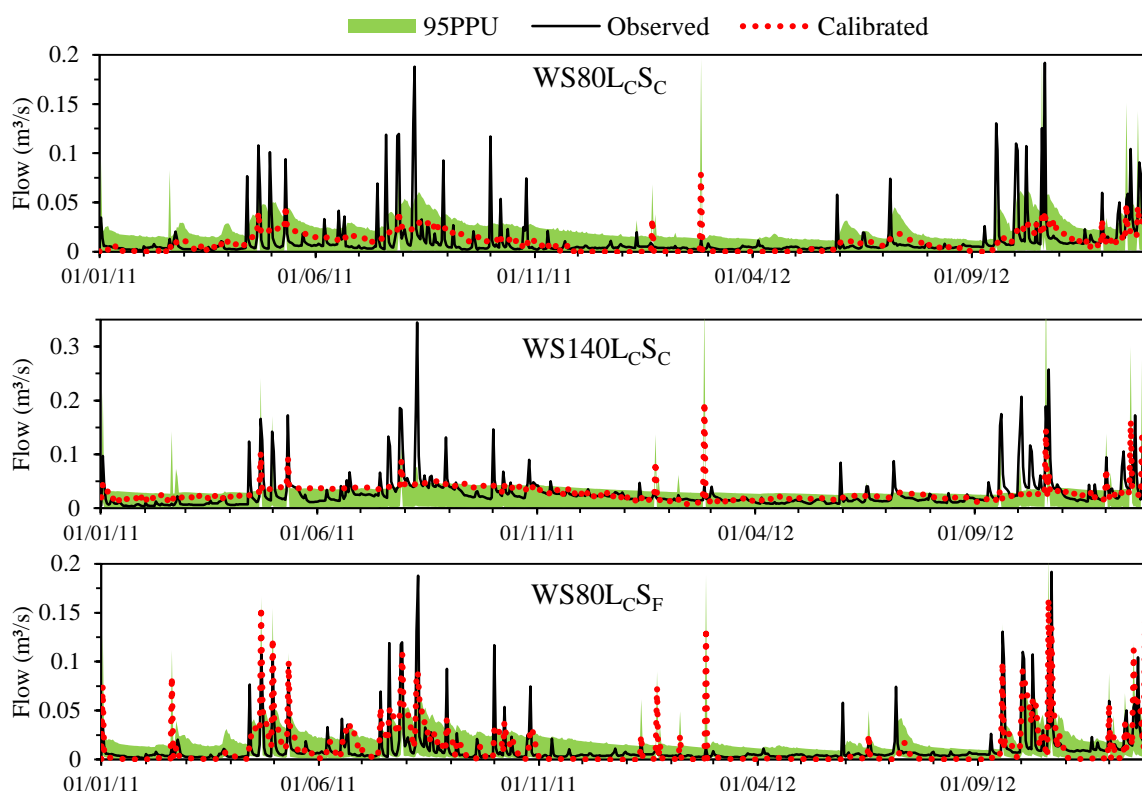
#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

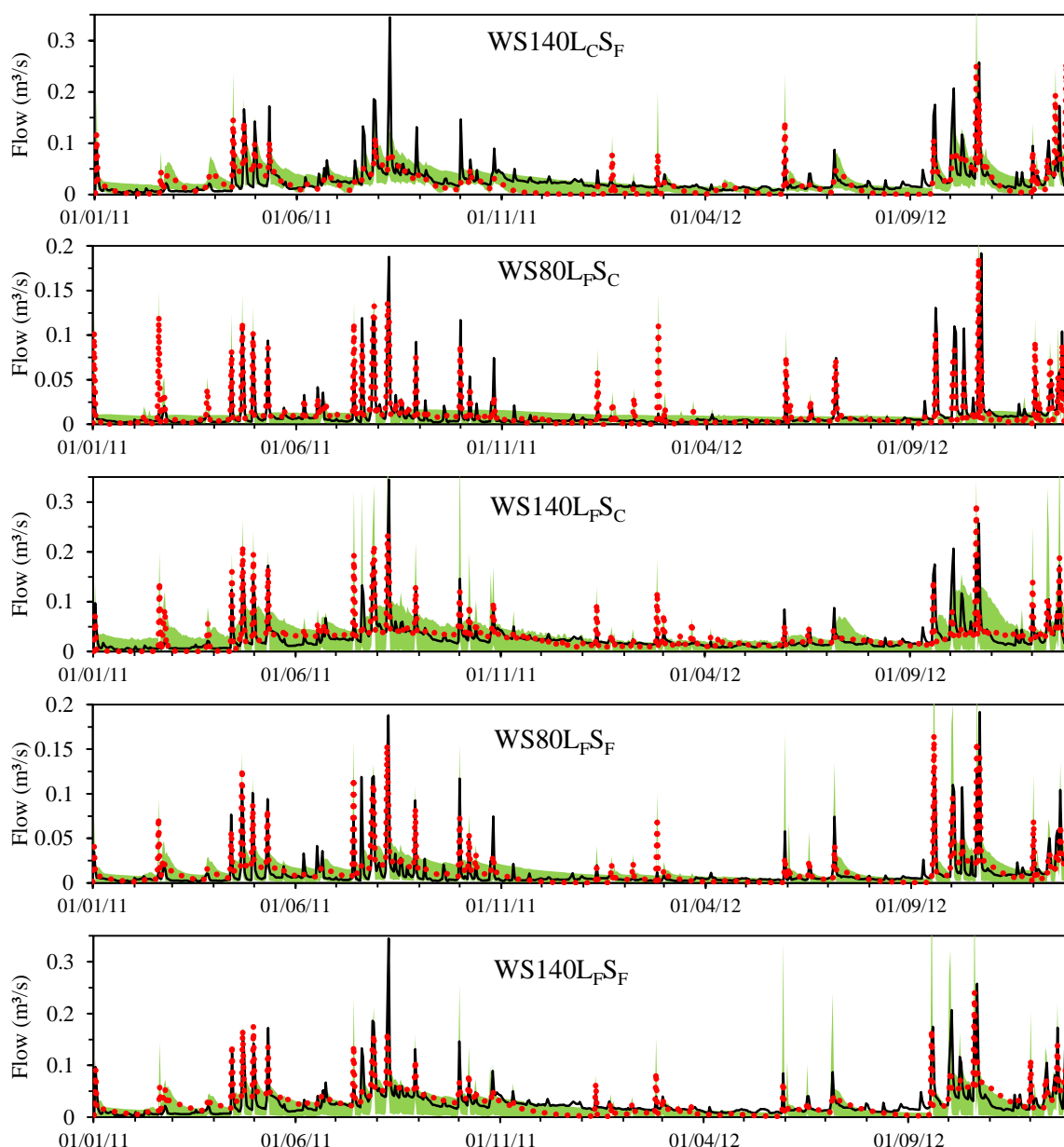
Os resultados estão divididos em três itens principais: o primeiro descreve os resultados gráficos do ajuste do modelo calibrado; o segundo apresenta o ajuste gráfico do modelo com os parâmetros transferidos, além dos conjuntos dos parâmetros sensíveis e os seus valores ajustados; o terceiro e último item trás os resultados dos indicadores estatísticos das simulações dos itens anteriores.

### 4.3.1 Calibração de parâmetros do modelo SWAT

Os cenários com descrição fina dos dados de entrada resultaram em valores de vazão mais próximos aos observados, sendo mais sensíveis às alterações dos dados de *LULC*. Ao incorporar a rotação de cultura por meio da variação temporal do *LULC* ao longo do ano (cenários  $L_F$ ), incluindo culturas produtoras de grãos de sequeiro no verão e pastagem nessas áreas durante o inverno, o modelo SWAT foi eficaz em reproduzir melhor a geração de escoamento nas bacias. A figura 6 demonstra a vazão diária observada e simulada e a faixa de incertezas 95PPU para todos os cenários calibrados. Os resultados estatísticos estão sumarizados no item **4.3.3 Resultados dos indicadores estatísticos**.

Figura 6 - Vazão simulada usando o modelo SWAT com parâmetros calibrados das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.





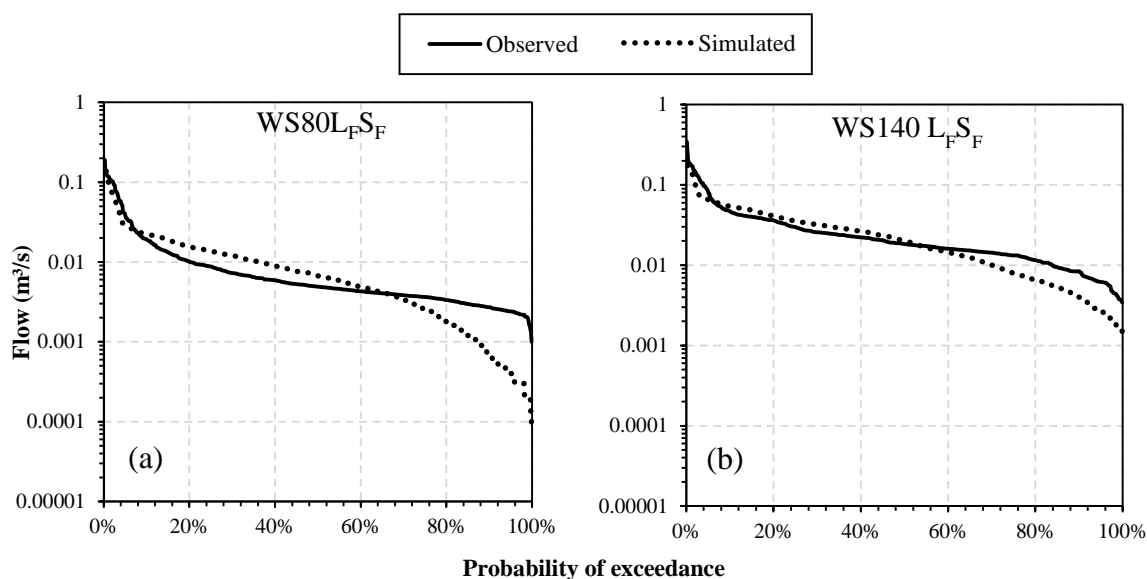
Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>1</sup> Sufixos: *L* – Dados de *LULC*, *S* – Dados de *SOIL*; Subscrito: *C* – parâmetros grosseiros, *F* - parâmetros finos; Faixa 95PPU – 95 % de probabilidade de representação dos dados de entrada.

Na bacia WS80, o modelo SWAT gerou vazões próximas as observadas, principalmente nas médias e altas, o que pode ser atrelado à função objetivo escolhida para a calibração (NSE - Eq.03). Para a bacia WS140, as vazões passaram a ser subestimadas quando mais recorrentes que a  $Q_{50}$  (Figura 7(b)), novamente um reflexo da função objetivo que tem maior peso nos valores máximos. Em ambos as situações, os picos foram subestimados em 13 % e 30 %, respectivamente; para os demais cenários, a subestimação das vazões de pico foi ainda mais acentuada, alcançando vazão 59 % menor que a vazão de pico observada no

cenário  $L_F S_C$ . A subestimação das vazões de pico no modelo SWAT já foi relatada em outros trabalhos (RAIHAN *et al.*, 2019; WANG; KALIN, 2011). A figura 7(a) e 7(b) representam as curvas de permanência do melhor cenário calibrado ( $L_F S_F$ ) nas bacias WS80 e WS140.

Figura 7 - Curvas de permanência de vazões observadas e simuladas no cenário  $L_F S_F$  usando parâmetros calibrados no modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

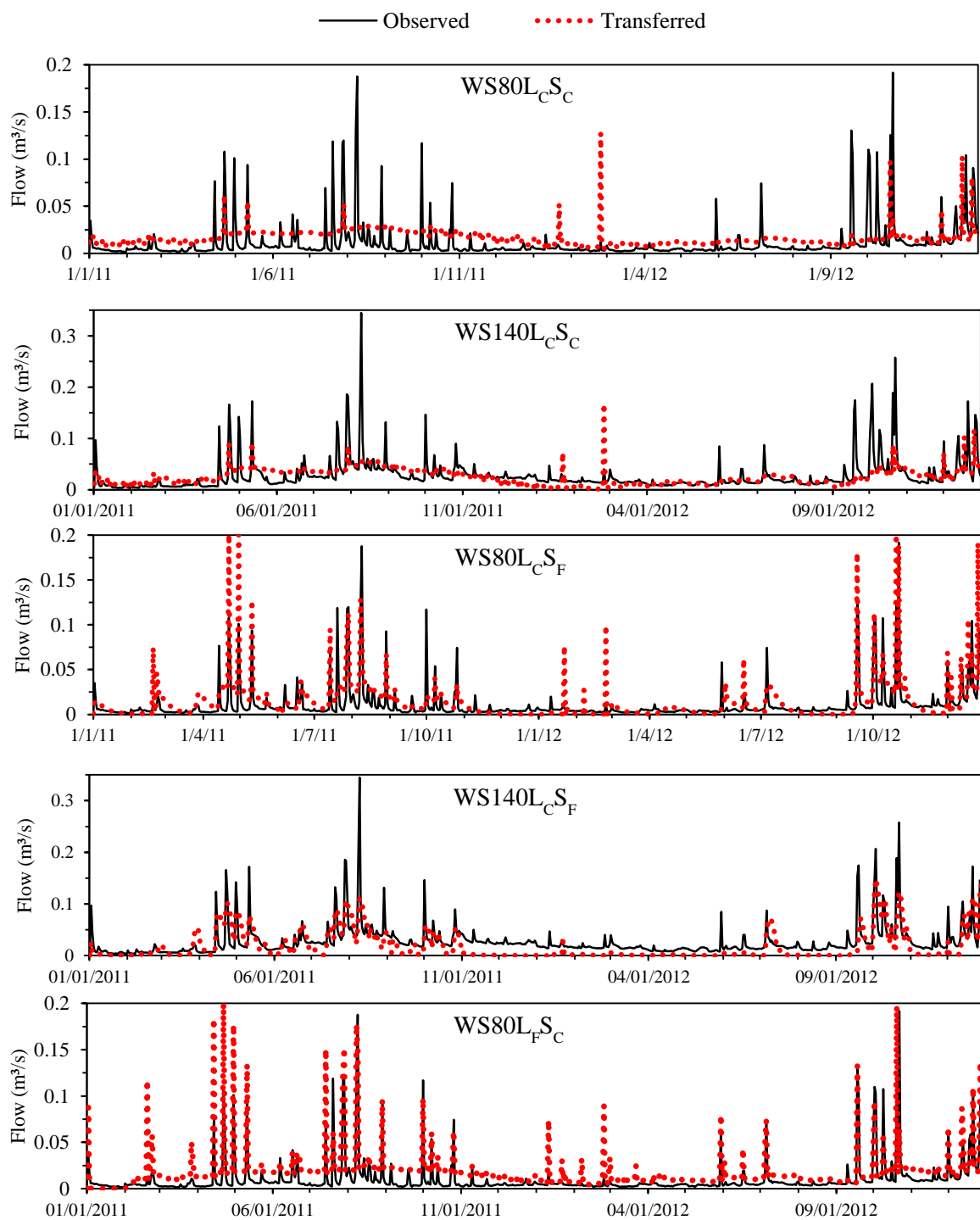


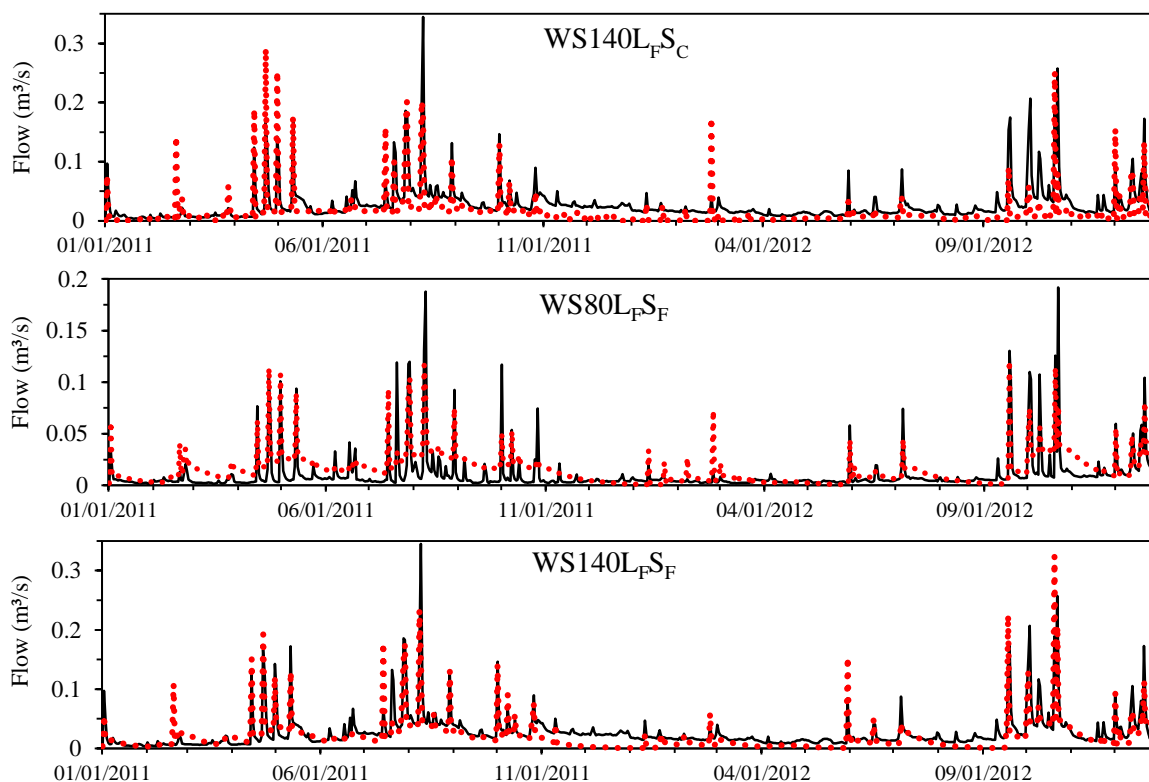
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.2 Transferência de parâmetros do modelo SWAT (verificação)

Cada um dos 4 cenários calibrados na etapa anterior, gerou um conjunto diferente de valores dos parâmetros, estes conjuntos foram transferidos para a outra bacia no mesmo cenário, seguindo o descrito no item **4.2.4 Transferência de Informações**. Novamente, os cenários com descrição fina dos dados de entrada resultaram em valores de vazão mais próximos aos observados, principalmente ao que se refere os dados de *LULC*. Os dados simulados pelo modelo com parâmetros transferidos conseguiram reproduzir os picos de vazão nos dois anos da série, semelhante ao resultado encontrado com o modelo calibrado, reproduzindo adequadamente a vazão para ambas as bacias. A figura 8 apresenta o ajuste do modelo com parâmetros transferidos em relação a vazão observada.

Figura 8 - Vazão simulada usando o modelo SWAT com parâmetros transferidos das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.





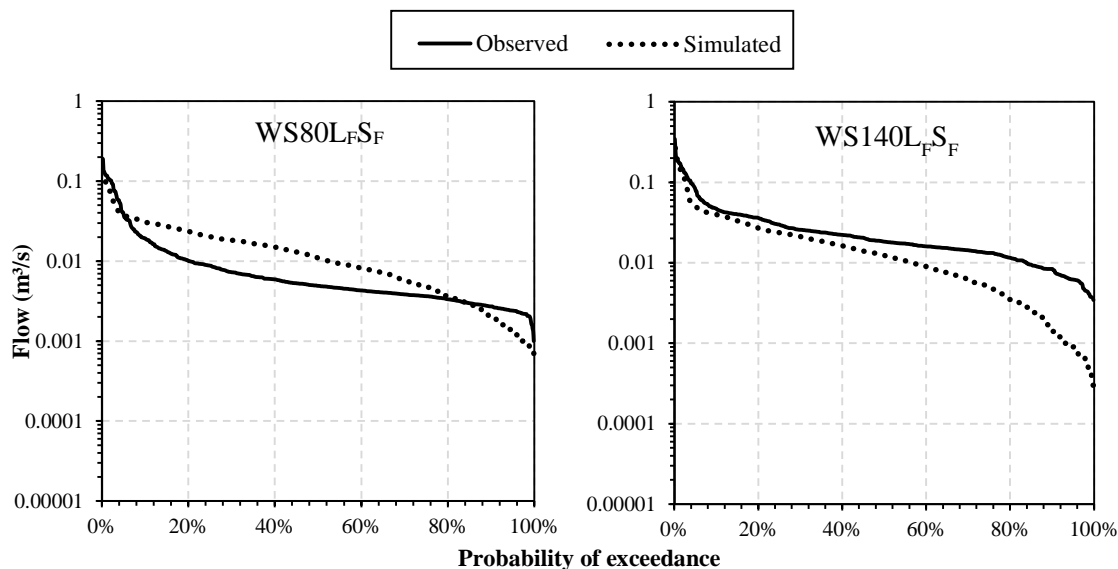
Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>1</sup> Sufixos: *L* – Dados de *LULC*, *S* – Dados de *SOIL*; Subscrito: *C* – parâmetros grosseiros, *F* – parâmetros finos; Faixa 95PPU – 95 % de probabilidade de representação dos dados de entrada.

Para os cenários  $L_F S_F$  transferidos, a aderência à vazão observada nas curvas de permanência foi semelhante ao resultado gerado pelo modelo com dados calibrados (Figura 9). Para ambas as bacias as vazões de pico tiveram ajuste aceitável e, novamente, as vazões mínimas foram subestimadas, principalmente na bacia WS140. O resultado é pertinente, principalmente nos eventos de grande magnitude, que tendem a aumentar seus efeitos com as mudanças climáticas e a intensificação das alterações do uso e ocupação do solo (YIN *et al.*, 2018). É importante ressaltar que o resultado observado condiz com a metodologia descrita, a função objetivo utilizada para a calibração foi o indicador estatístico NSE, no qual os valores máximos do conjunto de dados tendem a gerar maior interferência. Neste caso, a calibração do SWATCUP escolhe parâmetros que satisfaçam o melhor NSE e, por consequência, sendo mais assertivo nos eventos de pico que tem maior impacto no resultado do indicador.



Figura 9 - Curvas de Permanência de vazões observadas e simuladas no cenário  $L_F S_F$  usando parâmetros transferidos no modelo SWAT das duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As tabelas 5, 6, 7 e 8 apresentam os intervalos dos parâmetros (Parameters Range), os valores que geraram o melhor ajuste dentro do intervalo (Fitted Value) e o resultado do teste de sensibilidade. As tabelas estão divididas em cenários e apresentam o intervalo que foi calibrado na bacia doadora (donor) e transferido (Fitted Value) para a outra bacia receptora.

A tabela 5 apresenta os parâmetros ajustados e transferidos do cenário  $L_C S_C$ , os parâmetros identificados como sensíveis foram o  $GWQMN$ ,  $RCHRG\_DP$ ,  $CN2$ ,  $SOL\_K()$ ,  $SHALLST$  e o  $SURLAG$ . Para ambas as bacias calibradas o único parâmetro que apresentou sensibilidade foi o  $GWQMN$ .

Tabela 5 - Parâmetros ajustados ajuste do modelo SWAT no cenário  $LcSc$  das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Cenário $LcSc$						
Parameter**	-----WS80 donor -----			----- WS140 donor -----		
	Interval Parameter		Fitted Value	Interval Parameter		Fitted Value
	Min	Max	WS80a	Min	Max	WS140a
$r\_CN2.mgt$	-0.53	-0.17	-0.51	-0.45	-0.14	-0.44*
$r\_SOL\_K(.sol)$	0.09	0.35	0.29*	0.12	0.41	0.23
$r\_SOL\_Z(.sol)$	-0.44	-0.14	-0.44	-0.15	0.02	-0.07
$r\_SOL\_AWC(.sol)$	-0.06	0.09	0.01	-0.26	0.01	-0.15
$v\_ESCO.hru$	0.15	0.72	0.60	0.28	0.82	0.55
$v\_CANMX.hru$	53.87	106.19	79.55	65.74	124.51	86.41
$v\_SURLAG.bsn$	0.10	0.70	0.53*	0.20	0.54	0.37
$v\_GWQMN.gw$	1979.25	3699.94	2810.92*	-1129.04	1578.00	1141.42*
$v\_GW\_DELAY.gw$	-98.84	163.63	28.91	183.63	394.78	185.74
$v\_ALPHA\_BF.gw$	0.53	0.98	0.80	0.30	0.64	0.41
$v\_SHALLST.gw$	975.70	3446.45	2515.80	-405.50	2019.50	989.56*
$v\_REVAPMN.gw$	292.61	460.88	433.40	71.44	258.16	143.01
$v\_RCHRG\_DP.gw$	0.28	0.76	0.61	0.28	0.78	0.32*
$v\_GW\_REVAP.gw$	1.31	2.49	1.80	1.15	2.13	1.24
$v\_OV\_N.hru$	-0.03	0.14	0.06	0.13	0.24	0.18
$v\_CH\_K2.rte$	0.05	0.14	0.07	0.07	0.20	0.14
$v\_CH\_N2.rte$	0.13	0.41	0.30	-0.44	-0.11	0.01

Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Parâmetros sensíveis ao nível de 5% de significância.

\*\*Prefixo "r" são parâmetros calibrados com alteração relativa e "v" parâmetros redefinidos com novos valores.

No cenário  $LcSf$  apresentado na tabela 6, os resultados de sensibilidade foram semelhantes, apenas com a exclusão dos parâmetros  $GWQMN$  e  $RCHRG\_DP$  ao conjunto de parâmetros sensíveis do modelo. Em ambos os cenários o parâmetro  $CN2$  que descreve a permeabilidade do solo em função de condições de umidade e alterações de  $LULC$  e alguns dos parâmetros que descrevem os processos que ocorrem no lençol freático ( $.gw$ ), foram os principais responsáveis no resultado do modelo.

Tabela 6 - Parâmetros responsáveis pelo ajuste do modelo SWAT no cenário  $L_C S_F$  das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Cenário $L_C S_F$						
Parameter**	----- WS80 donor -----			----- WS140 donor -----		
	Interval Parameter		Fitted Value	Interval Parameter		Fitted Value
	Min	Max	WS80a	Min	Max	WS140a
$r\_CN2.mgt$	-0.53	-0.17	-0.26*	-0.21	-0.04	-0.12*
$r\_SOL\_K().sol$	0.09	0.35	0.33*	-0.16	0.15	0.1
$r\_SOL\_Z().sol$	-0.44	-0.14	-0.22	-0.23	-0.03	-0.15
$r\_SOL\_AWC().sol$	-0.06	0.09	0.07	-0.06	0.16	0.03
$v\_ESCO.hru$	0.15	0.72	0.49	0.09	0.70	0.53
$v\_CANMX.hru$	53.87	106.19	70.63	62.21	103.24	90.8
$v\_SURLAG.bsn$	0.10	0.70	0.39*	0.43	0.72	0.66
$v\_GWQMN.gw$	1979.24	3699.96	3040.35	-1332.99	1387.89	661.56
$v\_GW\_DELAY.gw$	-98.85	163.63	3.82	-56.80	165.41	8.27
$v\_ALPHA\_BF.gw$	0.53	0.98	0.65	0.59	0.92	0.7
$v\_SHALLST.gw$	975.74	3446.43	2499.34	1892.87	3441.12	2073.5*
$v\_REVAPMN.gw$	292.60	460.88	341.4	45.33	252.78	79.21
$v\_RCHRG\_DP.gw$	0.28	0.76	0.55	0.30	0.72	0.63
$v\_GW\_REVAP.gw$	1.31	2.49	1.46	1.08	1.69	1.65
$v\_OV\_N.hru$	-0.03	0.14	0.11	0.07	0.19	0.12
$v\_CH\_K2.rte$	0.05	0.14	0.06	0.03	0.15	0.05
$v\_CH\_N2.rte$	0.13	0.41	0.19	0.09	0.45	0.13

Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Parâmetros sensíveis ao nível de 5% de significância.

\*\*Prefixo "r" são parâmetros calibrados com alteração relativa, "v" parâmetros redefinidos com novos valores.

Para os cenários  $L_F S_C$  e  $L_F S_F$  (Tabelas 7 e 8), os resultados foram sensíveis ao mesmo grupo de parâmetros dos cenários anteriores, além da adição do  $CH\_K2$  e  $ALPHA\_BF$ . Nestes dois cenários, a melhor resolução no detalhamento do  $LULC$  (a adição dos parâmetros  $HARVEFF$  e  $CNOP$ ) proporcionou maior sensibilidade para a saída do modelo, principalmente o  $CNOP$ , que chegou a ser responsivo 6 vezes na mesma simulação (Cenário  $L_F S_C$  - WS140 donor). Isso pode ser indício da variação que a permeabilidade do solo sofre durante as rotações de cultura documentada por Andrade Bonetti *et al.*, (2019) e Flores *et al.*, (2007) e a sensibilidade que estas características do  $LULC$  exercem sobre os resultados do modelo SWAT.

Tabela 7 - Parâmetros responsáveis pelo ajuste do modelo SWAT no cenário  $L_{FS}C$  das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

<b>Cenário <math>L_{FS}C</math></b>						
Parameter**	----- WS80 donor -----			----- WS140 donor -----		
	Interval Parameter		Fitted Value	Interval Parameter		Fitted Value
	Min	Max	WS80	Min	Max	WS140
<i>r_CN2.mgt</i>	0.10	0.32	0.25*	0.15	0.50	0.20*
<i>v_CNOP_jan_a</i>	45.91	67.82	56.50*	39.22	67.05	48.03*
<i>v_CNOP_mar_a</i>	48.16	74.58	73.08	30.10	59.40	44.35*
<i>v_CNOP_apr_a</i>	38.35	57.52	42.63	56.95	84.34	77.13
<i>v_CNOP_may_a</i>	24.84	61.29	53.14	45.45	66.44	63.01
<i>v_CNOP_jun_a</i>	52.63	87.43	75.71*	76.44	103.83	88.59*
<i>v_CNOP_nov_a</i>	41.02	66.12	57.67	67.21	97.56	70.14*
<i>v_CNOP_dec_a</i>	31.69	56.98	48.12	45.20	65.69	47.32
<i>v_CNOP_jan_p</i>	68.37	90.14	70.18	72.30	106.13	93.97*
<i>v_CNOP_may_p</i>	20.74	56.27	35.5	23.32	58.40	46.31
<i>v_CNOP_jun_p</i>	67.97	94.40	92.90*	50.00	69.80	58.38*
<i>v_CNO_jul_p</i>	51.29	82.46	68.64	50.13	82.07	62.8
<i>v_CNOP_nov_p</i>	78.97	105.98	81.83	66.93	97.13	90.99
<i>v_CNOP_dec_p</i>	46.78	70.43	53.01	76.63	102.29	77.84
<i>r_SOL_K().sol</i>	-0.25	-0.03	-0.24	-0.04	0.09	0.01
<i>r_SOL_Z().sol</i>	-0.09	0.06	-0.07*	-0.13	0.02	-0.02*
<i>r_SOL_AWC().sol</i>	-0.13	0.01	-0.01	-0.08	0.12	-0.04
<i>v_ESCO.hru</i>	0.21	0.69	0.69	0.15	0.44	0.17
<i>v_CANMX.hru</i>	26.78	75.79	45.9	72.39	119.13	79.47
<i>v_SURLAG.bsn</i>	0.63	1.09	0.9	0.13	0.47	0.30*
<i>v_GWQMN.gw</i>	1439.51	3815.58	3522.53*	1852.80	3953.96	3064.47*
<i>v_GW_DELAY.gw</i>	123.25	339.88	134.08	-15.55	238.03	124.57
<i>v_ALPHA_BF.gw</i>	0.33	0.78	0.34	0.62	0.92	0.76*
<i>v_SHALLST.gw</i>	1435.18	3813.94	3615.71*	713.63	2858.76	2065.06*
<i>v_REVAPMN.gw</i>	279.76	485.67	283.19*	348.05	563.73	471.13
<i>v_RCHRG_DP.gw</i>	0.53	0.88	0.66	0.10	0.45	0.24*
<i>v_GW_REVAP.gw</i>	0.55	1.62	1.47	1.12	2.04	1.58
<i>v_OV_N.hru</i>	0.20	0.32	0.28	0.15	0.24	0.16
<i>v_CH_K2.rte</i>	0.02	0.16	0.09*	0.07	0.18	0.13
<i>v_CH_N2.rte</i>	-0.05	0.14	0.1	0.03	0.31	0.27
<i>v_HARVEFF_jun</i>	0.12	0.49	0.15	0.58	0.88	0.69
<i>v_HARVEFF_nov</i>	0.18	0.73	0.56	0.65	1.04	0.86

Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Parâmetros sensíveis ao nível de 5% de significância.

\*\*Prefixo "r" são parâmetros calibrados com alteração relativa, "v" parâmetros redefinidos com novos valores.

Tabela 8 - Parâmetros responsáveis pelo melhor ajuste do modelo SWAT no cenário  $LFS_F$  das duas bacias hidrográficas WS80 e WS140 no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Parameter**	Cenário $LFS_F$					
	----- WS80 donor -----			----- WS140 donor -----		
	Interval Parameter		Fitted Value	Interval Parameter		Fitted Value
	Min	Max	WS80	Min	Max	WS140
$r\_CN2.mgt$	0.12	0.44	0.17*	0.12	0.44	0.28
$v\_CNOP\_jan\_a$	35.00	64.39	57.63	35.00	64.39	40.39
$v\_CNOP\_mar\_a$	35.00	63.67	39.49	35.00	63.67	54.02
$v\_CNOP\_apr\_a$	47.71	81.27	79.37	47.72	81.27	65.95
$v\_CNOP\_may\_a$	70.86	95.09	83.65*	70.85	95.09	75.78*
$v\_CNOP\_jun\_a$	74.89	98.00	94.66*	74.90	98.00	89.91*
$v\_CNOP\_nov\_a$	63.08	92.31	66.49	63.08	92.31	80.13
$v\_CNOP\_dec\_a$	43.76	61.34	60.11	43.75	61.35	50.03
$v\_CNOP\_jan\_p$	53.40	87.23	55.32	53.40	87.23	85.76*
$v\_CNOP\_may\_p$	35.00	55.15	38.29	35.00	55.15	36.55
$v\_CNOP\_jun\_p$	42.13	61.86	50.09	42.13	61.86	56.01
$v\_CNO\_jul\_p$	49.06	81.72	68.11	49.06	81.72	69.20
$v\_CNOP\_nov\_p$	79.37	98.00	93.47	79.37	98.00	89.62
$v\_CNOP\_dec\_p$	58.52	84.92	59.48	58.52	84.92	80.96
$r\_SOL\_K().sol$	-0.24	-0.05	-0.13	-0.24	-0.05	-0.10
$r\_SOL\_Z().sol$	-0.29	-0.07	-0.28	-0.29	-0.07	-0.20
$r\_SOL\_AWC().sol$	-0.01	0.15	0.12	-0.01	0.15	0.14
$v\_ESCO.hru$	0.18	0.52	0.41	0.18	0.52	0.34
$v\_CANMX.hru$	59.05	100.00	67.93	59.05	100.00	89.49*
$v\_SURLAG.bsn$	0.54	0.85	0.60	0.54	0.85	0.58
$v\_GWQMN.gw$	155.64	1961.76	221.86	155.67	1961.81	631.28*
$v\_GW\_DELAY.gw$	0.00	138.10	15.19	0.00	138.09	23.48
$v\_ALPHA\_BF.gw$	0.43	0.73	0.61*	0.43	0.73	0.52
$v\_SHALLST.gw$	832.41	3332.03	2573.81	832.37	3332.07	2040.56*
$v\_REVAPMN.gw$	312.91	500.00	343.47	312.92	500.00	368.42
$v\_RCHRG\_DP.gw$	0.44	0.81	0.71	0.44	0.81	0.55*
$v\_GW\_REVAP.gw$	0.82	1.57	1.35	0.82	1.57	1.56
$v\_OV\_N.hru$	0.18	0.26	0.26	0.18	0.26	0.22
$v\_CH\_K2.rte$	0.18	0.29	0.21	0.18	0.29	0.26
$v\_CH\_N2.rte$	-0.12	0.13	0.05	-0.12	0.13	-0.03
$v\_HARVEFF\_jun$	0.56	0.88	0.75	0.56	0.88	0.71
$v\_HARVEFF\_nov$	0.36	0.76	0.55*	0.36	0.76	0.47

Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Parâmetros sensíveis ao nível de 5% de significância.

\*\*Prefixo "r" são parâmetros calibrados com alteração relativa, "v" parâmetros redefinidos com novos valores.

O modelo SWAT foi configurado em todas as simulações utilizando o método Green-Ampt para estimativa de infiltração de água no solo. Todavia, isso não exclui o uso do parâmetro CN, que faz parte da equação (Eq. 1) desenvolvida por Nearing *et al.* (1996) para

calcular a condutividade hidráulica efetiva de Green-Ampt ( $K_e$ ) no modelo (NEITSCH *et al.*, 2011). Isso representa em termos práticos uma calibração do  $K_e$  por meio do CN e do parâmetro  $K_{sat}$  representado pelo SOL\_K no modelo SWAT. O método CN além de responsável por descrever a permeabilidade do solo, também, estima em termos de abstração inicial ( $I_a$ ), a interceptação, a evaporação, a infiltração e o armazenamento na superfície do solo durante o início de um evento (SCS, 1972). Esses processos dependentes das alterações de uso e ocupação do solo e são, no presente artigo, descritos pela dinâmica das rotações de cultura da cobertura vegetal estimada pelo índice de vegetação EVI2.

Todos os parâmetros que o resultado do modelo SWAT foi sensível, exceto os dois parâmetros de solo ( $SOL\_K()$  e  $SOL\_Z()$ ), são parâmetros de métodos empíricos ou fatores de compensação das condições de contorno dos processos hidrológicos (NEITSCH *et al.*, 2011) e só podem ser obtidos via calibração ou por técnicas de regionalização como a transposição de informações, como apresentada neste trabalho.

#### 4.3.3 Resultados dos indicadores estatísticos

Os resultados dos indicadores estatísticos do ajuste da curva de simulação e das incertezas dos resultados estão expressos na tabela 9. O modelo com dados calibrados foi capaz de simular com desempenho satisfatório o escoamento total de ambas as bacias para os cenários com melhor descrição do *LULC* ( $L_F S_C$  e  $L_F S_F$ ). Mesmo no cenário grosseiro dos aspectos físicos do solo ( $L_F S_C$ ) os resultados dos indicadores estatísticos foram inferiores aos de  $L_F S_F$ , contudo ainda se mantiveram na faixa considerada satisfatória por Moriasi *et al.*, 2007. A principal característica agregada nestes cenários é a adição das datas de semeadura e de colheita das culturas, bem como a possibilidade de calibração do parâmetro *CNOP* durante a operação de semeadura. Isso traz nova resolução nas informações de entrada do modelo, sendo captadas as variações sazonais de *LULC*, provavelmente o responsável pelo melhor desempenho dos resultados do modelo SWAT.

Para os resultados do modelo transferido, o único cenário que alcançou resultados satisfatórios para ambas as bacias no indicador NSE foi o  $L_F S_F$ . O cenário  $L_C S_F$  na bacia mesmo com as informações de solo especializadas não foi possível alcançar um bom ajuste para a vazão das bacias. O indicador PBIAS não atingiu faixa considerada satisfatória em

nenhuma das simulações de transferência, possivelmente em consequência da escolha do NSE como função objetivo da calibração. Os modelos transferidos não apresentam resultados de incerteza por terem utilizado apenas um conjunto de parâmetros.

Tabela 9 - Desempenho do modelo SWAT nas duas bacias hidrográficas monitoradas no município de Júlio de Castilhos no Rio Grande do Sul, Sul do Brasil.

Statistical Indicators	SOIL				SOIL				
	---- WS80 donor <sup>3</sup> ----		---- Ws140 donor ----		---- WS80 donor ----		---- Ws140 donor ----		
	WS80 <sup>1</sup>	Ws140 <sup>2</sup>	Ws140 <sup>1</sup>	WS80 <sup>2</sup>	WS80 <sup>1</sup>	Ws140 <sup>2</sup>	Ws140 <sup>1</sup>	WS80 <sup>2</sup>	
	----- $L_C S_C$ -----				----- $L_C S_F$ -----				
LULC	PBIAS	12.60%	41.7%*	0.50%	-48.0%*	-0.02%	33.5%	22.40%	-25.5%*
	NSE	0.18*	0.16*	0.16*	0.06*	0.40*	0.30	0.37*	0.39*
	p-factor	0.95	-	0.89	-	0.96	-	0.87	-
	r-factor	1.22	-	1.12	-	1.16	-	1.06	-
	----- $L_F S_C$ -----				----- $L_F S_F$ -----				
LULC	PBIAS	10.4%	48.8%*	1.4%	-67.2%*	-3.8%	28.7%*	4.0%	-39.9%*
	NSE	0.63	0.30*	0.53	0.42	0.69	0.55	0.56	0.56
	p-factor	0.91	-	0.96	-	0.95	-	0.84	-
	r-factor	0.73	-	1.63	-	0.96	-	1.13	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

<sup>1</sup> Cenário com parâmetros calibrados

<sup>2</sup> Cenário com parâmetros transferidos.

<sup>3</sup> Bacia doadora dos parâmetros.

\* Resultado insatisfatório para o indicador estatístico, classificação Moriasi *et al.*, (2007).

O cenário grosseiro de solo  $L_F S_C$  foi elaborado baseado na fonte de dados de solo mais difundida em trabalhos que utilizaram o modelo SWAT no Brasil (BRESSIANI *et al.*, 2015). O Sistema de Informações de Solos Brasileiros da EMBRAPA apresenta um compilado de trabalhos relacionados com o levantamento de informações, porém não segue uma padronização na espacialização dos dados, apresentando áreas com bastante informação e outras com trabalhos escassos. Isto pode justificar a inferioridade observada neste cenário em relação aos indicadores estatísticos e a faixa de incerteza do indicador  $r$ -factor do cenário  $L_F S_F$ , que foi baseado em dados coletados a campo. O cenário com descrição fina de solo usou apenas a camada superficial para a elaboração do mapa de resolução de aproximadamente 1:50.000, resultando em um baixo custo de amostragem suficiente para alcançar melhores resultados que os cenário grosseiros de solo.

Os cenários com descrição grosseira de LULC ( $L_C S_C$  e  $L_C S_F$ ) alcançaram resultado satisfatório apenas para o indicador estatístico PBIAS na calibração. Todas as simulações

ficaram numa faixa considerada aceitável em relação aos parâmetros de incerteza de resultado, *p-factor* maior que 0.70 e *r-factor* em torno de 1.00 segundo Abbaspour *et. (2007, 2015)*, tendo apenas um resultado com uma propagação de incerteza, superior o parâmetro *r-factor* = 1.63 do cenário  $L_F S_C$  calibrado na bacia WS140.

#### 4.4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi testado o desempenho do modelo SWAT na simulação do escoamento total de duas bacias hidrográficas sob dois cenários de resolução espacial de solo (SOIL) e dois de variação temporal de uso e ocupação do solo (*LULC*), perfazendo um total de 16 simulações.

Apenas no melhor cenário de SOIL e *LULC* ( $L_F S_F$ ), todos os indicadores estatísticos e de incerteza alcançaram faixa igual ou superior a satisfatória, tanto para a bacia doadora calibrada quanto para a bacia sem dados com parâmetros transferidos, ambos tiveram resultados equivalentes nos indicadores estatísticos.

Este estudo demonstrou os ganhos que a resolução maior na escala temporal dos dados de *LULC* pode prover aos resultados do modelo em bacias hidrográficas. A rotação de cultura estimada pelo índice de vegetação EVI2 e a calibração do parâmetro método NRCS-CN foram os principais responsáveis por captar as variações que a permeabilidade do solo sofre durante as mudanças de *LULC* do sistema de interação lavoura-pecuária. Pesquisas futuras devem ser realizadas investigando a variabilidade espaço-temporal do uso e ocupação do solo, principalmente voltadas a representação desse fenômeno em modelos hidrológicos sob as diferentes escalas. A utilização do EVI2 em aplicações complementares, não exploradas neste trabalho, principalmente voltadas a aspectos do crescimento vegetal, como a biomassa e a área foliar, também podem complementar a descrição do uso e ocupação da terra nos modelos hidrológicos.



## AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores Jimmy Walter Rasche Alvarez, da Universidade Nacional de Assunção - Paraguai, e André Pellegrini, da UTFPR, e ao doutorando da UFSM/UNIV-POITIERS Gilmar Luiz Schaefer. Os dados obtidos foram financiados pela FAPERGS, CNPq e Fepagro / FINEP.

## REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, K.C. **SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs - a user manual**, Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. 2015.

ABBASPOUR, K. C.; VAGHEFI, S.; SRINIVASAN, R. A Guideline for Successful Calibration and Uncertainty Analysis for Soil and Water Assessment: A Review of Papers from the 2016 International SWAT Conference. **Water**, v. 10, n. 1, p.6-24, dec. 2017.

ABBASPOUR, K. C.; YANG, J.; MAXIMOV, I.; et al. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. **Journal of Hydrology**, v. 333, n. 2–4, p. 413–430, 2007.

AKSOY, H.; KURT, I.; ERIS, E. Filtered smoothed minima baseflow separation method. **Journal of Hydrology**, v. 372, n. 1–4, p. 94–101, 2009.

ALAOUI, A.; ROGGER, M.; PETH, S.; BLÖSCHL, G. Does soil compaction increase floods? A review. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 631–642, 2018.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; et al. SWAT: MODEL USE, CALIBRATION, AND VALIDATION. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491–1508, 2012.

ARNOLD, J.G., J.R. KINIRY, SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J.R., HANEY, E.B. NEITSCH, S.L. **Soil and Water Assessment Tool: Input/Output Documentation**. Version 2012. 2015.

BALTAS, E. A.; DERVOS, N. A.; MIMIKOU, M. A. Technical note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 6, p. 1825–1829, 2007.

BAO, Z.; ZHANG, J.; LIU, J.; et al. Comparison of regionalization approaches based on regression and similarity for predictions in ungauged catchments under multiple hydro-climatic conditions. **Journal of Hydrology**, v. 466–467, p. 37–46, 2012.

BÁRDOSSY, A. Calibration of hydrological model parameters for ungauged catchments. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 2, p. 703–710, 2007.

BAUWE, A.; TIEDEMANN, S.; KAHLE, P.; LENNARTZ, B. Does the temporal resolution of precipitation input influence the simulated hydrological components employing the swat model? **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 53, n. 5, 2017.

BLOSCHL, G.; SIVAPALAN, M. SCALE ISSUES IN HYDROLOGICAL MODELLING: A REVIEW. **Hydrological Processes**, v. 9, n. 20, p. 251–290, 1995.

BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M.; WAGENER, T.; VIGLIONE, A.; SAVENIJE, H. **Runoff prediction in ungauged basins: Synthesis across processes, places and scales**. 2011.

BRASIL – Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife. p.431, 1973

BRESSIANI, D. DE A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; et al. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 1–27, 2015.

CAPOANE, V.; RHEINHEIMER, D. DOS S. Análise qualitativa do uso e ocupação da terra no assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul (Qualitative analysis of the use and occupation of land in the Alvorada settlement, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul). **Revista NERA**, v. 20, p. 193–205, 2012.

CHAUBEY, I.; COTTER, A. S.; COSTELLO, T. A.; SOERENS, T. S. Effect of DEM data resolution on SWAT output. **Hydrological Processes**, v. 19, p. 621–628, 2005.

CLARK, G. E.; AHN, K. H.; PALMER, R. N. Assessing a regression-based regionalization approach to ungauged sites with various hydrologic models in a forested catchment in the northeastern United States. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 22, n. 12, p. 1–14, 2017.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. Defining parameters for Eckhardt’s digital baseflow filte. **Hydrological Processes**, 2012.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991–2007, 2015.

DE JONG, S. M.; JETTEN, V. G. Estimating spatial patterns of rainfall interception from remotely sensed vegetation indices and spectral mixture analysis. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 5, p. 529–545, 2007.

DE ANDRADE BONETTI, J.; ANGHINONI, I.; IVONIR GUBIANI, P.; CECAGNO, D.; DE MORAES, M. T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. November 2018, p. 280–291, 2019.

DE MORAES, A.; CARVALHO, P. C. DE F.; ANGHINONI, I.; et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4–9, 2014.

DESHMUKH, D. S.; CHAUBE, U. C.; EKUBE HAILU, A.; ABERRA GUDETA, D.; TEGENE KASSA, M. Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 89–101, 2013.

ECKHARDT, K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. **Journal of Hydrology**, v. 352, n. 1–2, p. 168–173, 2008.

ECKHARDT, K. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. **Hydrological Processes**, v. 19, n. 2, p. 507–515, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema de Informação de Solos Brasileiros. 2018. Disponível em: <<https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 3 fev. 2018.

FAVARETTO, J. R. CONSISTENCY ANALYSIS AND REGIONALIZATION OF MAXIMUM PRECIPITATION OCCURED IN RIO GRANDE DO SUL BETWEEN 1912 2014. 2016. 764 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavourapecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 31, n. 4, p. 771–780, 2007.

FOODY, G. M.; CURRAN, P. J. Estimation of tropical forest extent and regenerative stage using remotely sensed data. **Journal of Biogeography**, v. 21, n. 3, p. 223–244, 1994.

FRANKLIN, J. Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 474–499, 1995.

FREITAS, R. M. DE; ARAI, E.; ADAMI, M.; et al. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p. 57–68, 2011.

GAO, X.; HUETE, A. R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 3, p. 609–620, 2000.

GITAU, M. W.; CHAUBEY, I. Regionalization of SWAT model parameters for use in ungauged watersheds. **Water (Switzerland)**, v. 2, n. 4, p. 849–871, 2010.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of Hydrologic Engineering**, Vol. 4, n. 2, April 1999.

HAWKINS, R. H. Curve number method: time to think anew? **Journal of Hydrologic Engineering**, 19, (6) 1059–1059, 2014.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25, 295–309, 1988.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Laboratório Virtual de Séries Temporais de Imagens de Sensoriamento Remoto. 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/>>. Acesso em: 5 jan, 2018.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3833–3845, 2008.

JIN, Y.; YANG, X.; QIU, J.; et al. Remote Sensing-Based Biomass Estimation and Its Spatio-Temporal Variations in Temperate Grassland, Northern China. **Remote Sensing**, v. 6, p. 1496–1513, 2014.

JUNIOR, L. C. G. DO V.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. DE. Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed. **Brazilian Journal of Water Resources**, n. 24, p. 1–9, 2019.

JÚNIOR, W.; SANTOS, R.; MONTOANI, B.; et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221–222, p. 91–95, 2014.

KUSTAS, W. P.; NORMAN, J. M. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces. **Hydrological Sciences Journal**, v. 41, n. 4, p. 495–516, 1996.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1–2, p. 37–54, 2007.

LIU, J.; ZHANG, Z.; ZHANG, M. Impacts of forest structure on precipitation interception and run-off generation in a semiarid region in northern China. **Hydrological Processes**, v. 32, n. 15, p. 2362–2376, 2018.

MELESSE, A. M.; WENG, Q.; THENKABAIL, P. S.; SENAY, G. B. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling. **Sensors**, v. 7, p. 3209–3241, 2007.

MÉNDEZ-BARROSO, L. A.; VIVONI, E. R.; WATTS, C. J.; RODRÍGUEZ, J. C. Seasonal and interannual relations between precipitation, surface soil moisture and vegetation dynamics in the North American monsoon region. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p. 59–70, 2009.

MERZ, R.; BLÖSCHL, G.; PARAJKA, J. Regionalization methods in rainfall-runoff modelling using large catchment samples. **IAHS-AISH Publication**, n. 307, p. 117–125, 2006.

MERZ, R.; BLÖSCHL, G. Regionalisation of catchment model parameters. **Journal of Hydrology**, v. 287, n. 1–4, p. 95–123, 2004.

MIRALLES, D. G.; GASH, J. H.; HOLMES, T. R. H.; DE JEU, R. A. M.; DOLMAN, A. J. Global canopy interception from satellite observations. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 115, n. 16, p. 1–8, 2010.

MUCHE, M. E.; HUTCHINSON, S. L.; HUTCHINSON, J. M. S.; JOHNSTON, J. M. Phenology-adjusted dynamic curve number for improved hydrologic modeling. **Journal of Environmental Management**, v. 235, n. December 2018, p. 403–413, 2019.

NASH, J. E.; SUTCLUFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, 10(3): 282-290. 1970.

NEARING, M. A.; LIU, B. Y.; RISSE, L. M.; ZANG, X. Curve number and Green-Ampt effective hydraulic conductivities. *Water Resources Bulletin*, n. 32, p. 125-136, 1996.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009**. Texas Water Resources Technical Report. No. 406. 2011.

LOUDIN, L.; ANDRÉASSIAN, V.; PERRIN, C.; MICHEL, C.; LE MOINE, N. Spatial proximity, physical similarity, regression and ungauged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments. **Water Resources Research**, v. 44, n. 3, p. 1–15, 2008.

POOL, S.; VIVIROLI, D.; SEIBERT, J. Prediction of hydrographs and flow-duration curves in almost ungauged catchments : Which runoff measurements are most informative for model calibration ? **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 613–622, 2017.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>, 2019.

RAIHAN, F.; BEAUMONT, L. J.; MAINA, J.; ISLAM, A. S.; HARRISON, P. Simulating streamflow in the Upper Halda Basin of southeastern Bangladesh using SWAT model. **Hydrological Sciences Journal**, v. 00, n. 00, p. 1–14, 2019.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**. v. 36:1931-1935, 2006.

RAZAVI, T.; COULIBALY, P. Streamflow prediction in ungauged basins: Review of regionalization methods. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 8, p. 958–975, 2013.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model – SWMM: User’s Manual Version 5.1**. 2015.

ROUHOLAHNEJAD, E.; ABBASPOUR, K. C.; VEJDANI, M.; et al. Environmental Modelling & Software A parallelization framework for calibration of hydrological models. **Environmental Modelling and Software**, v. 31, p. 28–36, 2012.

SANTOS, C. A. S.; ALMEIDA, C.; RAMOS, T. B.; et al. Using a hierarchical approach to calibrate SWAT and predict the semi-arid hydrologic regime of northeastern Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 9, 2018.

SARTORI, M. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, v. I, p. 27–49, 2003.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 8, p. 1507–1511, 2004.

SAXTON, K. E.; RAWLS, W. J. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 5, p. 1569, 2006.

SCHARFFENBERG, W. A. **HEC-HMS Hydrologic Modeling System User’s Manual**. 2013.

SCHNEIDERMAN, E. M.; STEENHUIS, T. S.; THONGS, D. J.; et al. Incorporating variável source area hydrology into a curve-number-based watershed model. **Hydrological Processes**, v. 21, n. July, p. 3420–3430, 2007.

SHI, W.; HUANG, M.; GONGADZE, K.; WU, L. A Modified SCS-CN Method Incorporating Storm Duration and Antecedent Soil Moisture Estimation for Runoff Prediction. **Water Resources Management**, v. 31, n. 5, p. 1713–1727, 2017. *Water Resources Management*.

SHI, Z. H.; CHEN, L. D.; FANG, N. F.; QIN, D. F.; CAI, C. F. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, v. 77, n. 1, p. 1–7, 2009.

SINGH, P. K.; MISHRA, S. K.; BERNDTSSON, R.; JAIN, M. K.; PANDEY, R. P. Development of a Modified SMA Based MSCS-CN Model for Runoff Estimation. **Water Resources Management**, v. 29, n. 11, p. 4111–4127, 2015.

SIVAPALAN, M.; TAKEUCHI, K.; FRANKS, S. W.; et al. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. **Hydrological Sciences Journal**, v. 48, n. 6, p. 857–880, 2003.

SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: A review. **Journal of Hydrology**, v. 240, p. 147–186, 2001.

STEGLICH, E. M.; OSORIO, J.; DORO, L.; JEONG, J.; WILLIAMS, J. R. **Agricultural Policy / Environmental eXtender Model – APEX: User’s Manual Version 1501**. 2018.

STÖCKLI, R.; RUTISHAUSER, T.; DRAGONI, D.; et al. Remote sensing data assimilation for a prognostic phenology model. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1–19, 2008.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R. Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, 64 – 70, 2015.

SWAIN, J. B.; PATRA, K. C. Streamflow estimation in ungauged catchments using regionalization techniques. **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 420–433, 2017.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto alegre – RS. Ed. Universidade UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 652p. 1998.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environment**, 8 (2), 127–150. 1979.

WANG, R.; KALIN, L. Modelling effects of land use/cover changes under limited data. **Ecohydrology**, v. 4, p. 265–276, 2011.

WESCOAT, J. L. Water Resources and Hydrological Management. **International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology**. p.1–23, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/9781118786352.wbieg0620>>. .

WOODWARD, D. E.; HAWKINS, R. H.; JIANG, R.; HJELMFELT JUNIOR, A. T.; VAN MULLEM, J. A.; QUAN, D. Q. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. In: **2003 WORLD WATER AND ENVIRONMENTAL RESOURCES CONGRESS**, 2003, Philadelphia. Proceedings... Reston: ASCE, p. 1-10, 2003.

YIN, J.; GENTINE, P.; ZHOU, S.; et al. Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 2018.

ZHANG, D.; LIN, Q.; CHEN, X.; CHAI, T. Improved Curve Number Estimation in SWAT by Reflecting the Effect of Rainfall Intensity on Runoff Generation. **Water**, v. 11, n. 163, p. 17, 2019.

ZHANG, Y.; CHIEW, F. H. S.; LI, M.; POST, D. Predicting runoff signatures using regression and hydrological modelling approaches. **Water Resources Research**, v. 54, n. 10, 2018.

## 5. DISCUSSÃO

Este trabalho demonstrou os resultados que a adição de uma maior resolução espaço-temporal na descrição do uso e ocupação da terra (*LULC*) pode prover no estudo hidrológico de bacias hidrográficas rurais. A dinâmica sazonal do *LULC* foi introduzida de maneira diferente em dois artigos científicos, explorando o valor da leitura do índice de vegetação *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2) em função do método Curve Number (CN-NRCS), e utilizando o EVI2 para prover períodos entre as rotações de culturas agrícolas com o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). A utilização de uma escala de informação adequada para a representação dos processos hidrológicos, no meio ambiente e nos modelos matemáticos, apresentaram-se como fatores fundamentais para a observação do processo de geração de escoamento sob a escala observada (BLÖSCH; SIVAPLAN, 1995; HRACHOWITZ *et al.*, 2013).

No primeiro artigo, foi observada a relação entre o EVI2 com o parâmetro de abstração inicial (*Ia*) do método NCRS-CN, o qual é responsável pela retenção da precipitação antes do início da geração de escoamento. A correlação observada entre o EVI2 e o *Ia* é associado com a importância da estrutura biofísica vegetal, responsável pela interceptação, na parcela de retenção da chuva. Não foram constatadas relações entre a precipitação acumulada na bacia e o EVI2, como documentado nos trabalhos de Júnior *et al.* (2014) e Méndez-Barroso *et al.* (2009), do mesmo modo entre a *Ia* e a condição de umidade antecedente da bacia AMC, resultados que fortalecem a ligação da cobertura vegetal ao *Ia*. Com a utilização do *Ia* estimado por sensoriamento remoto (EVI2), foi possível empregar o método NCRS-CN utilizando a taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) de maneira variável, o que correspondeu a um resultado superior na simulação da vazão das bacias hidrográficas sob estudo.

No segundo artigo foram testados dois níveis de descrição espacial para os dados de solo e dois níveis de descrição espaço-temporal de *LULC*, novamente observados via EVI2. Os resultados demonstraram que a descrição das rotações de culturas e a aliada a calibração do parâmetro CN em mais de um momento durante a série observada é capaz de gerar resultados superiores no modelo SWAT. A literatura (CAPOANE; RHEINHEIMER, 2012) descreve o comportamento do uso do solo da região estudada como sendo altamente variável, além de um solo susceptível ao sistema produtivo da região (DE ANDRADE BONETTI *et al.*, 2019; DE MORAES *et al.*, 2014), baseado na produção de grãos alternado com gado sobre



as mesmas áreas em outras épocas do ano. O modelo SWAT, quando calibrado com discretização espacial superior, teve capacidade de simular este comportamento do *LULC* e em consequência modelar com resultado satisfatório a vazão das bacias, resultado que também foi observado na transferência do modelo para a outra bacia sem dados.

Os resultados apresentados por este trabalho, direcionado principalmente para a utilização de uma escala temporal superior de *LULC*, convergiram em melhores resultados nas duas aplicações desenvolvidas, o que demonstra o potencial do *EVI2* como ferramenta em aplicações na área de hidrologia.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram avaliados o desempenho dos métodos CN-NCRS e do modelo SWAT na transposição de informações para bacias sem dados, sendo considerado uma série de variações espaço-temporais dos dados de entradas, principalmente voltados a representação das variações espaço-temporais de *LULC*. Sendo os resultados resumidos em:

- O parâmetro de abstração inicial ( $Ia$ ) do método CN-NRCS é relacionado diretamente com as variações sazonais de *LULC* nas bacias WS80 e WS140;
- Foi possível estimar o  $Ia$  utilizando o *EVI2*, devido a correlação positiva forte observada entre ambos;
- É possível utilizar o método CN-NRCS com taxa de abstração inicial ( $\lambda$ ) variável obtendo-se a  $Ia$  via *EVI2*, e seu desempenho mostrou-se superior na simulação da vazão em bacias sem dados sobre as abordagens tradicionais do método ( $\lambda$  fixo);
- O modelo SWAT calibrado foi capaz de simular a vazão das bacias WS80 e WS140;
- Os cenários onde o *LULC* foi descrito com maior detalhamento (sufixo  $L_F$ ) alcançaram resultado satisfatório no ajuste da vazão;
- O modelo SWAT foi capaz de simular a vazão utilizando os parâmetros transferidos de outra bacia.

## REFERÊNCIAS

ALAOUI, A.; ROGGER, M.; PETH, S.; BLÖSCHL, G. Does soil compaction increase floods ? A review. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 631–642, 2018.

ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., SRINIVASAN, R., WILLIAMS, J. R., HANEY, E. B., AND NEITSCH, S. L. **SWAT 2012 input/output documentation**. Texas Water Resources Institute. 2013.

BLOSCHL, G.; SIVAPALAN, M. SCALE ISSUES IN HYDROLOGICAL MODELLING: A REVIEW. **Hydrological Processes**, v. 9, n. 20, p. 251–290, 1995.

CAPOANE, V.; RHEINHEIMER, D. DOS S. Análise qualitativa do uso e ocupação da terra no assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul (Qualitative analysis of the use and occupation of land in the Alvorada settlement, Júlio de Castilhos – Rio Grande do Sul). **Revista NERA**, v. 20, p. 193–205, 2012.

DAGNEW, A.; SCAVIA, D.; WANG, Y.; et al. Modeling Flow , Nutrient , and Sediment Delivery from a Large International Watershed Using a Field-Scale SWAT Model. **Journal of the American Water Resources Association**, p. 1–18, 2019.

DE ANDRADE BONETTI, J.; ANGHINONI, I.; IVONIR GUBIANI, P.; CECAGNO, D.; DE MORAES, M. T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 186, n. November 2018, p. 280–291, 2019.

DE MORAES, A.; CARVALHO, P. C. DE F.; ANGHINONI, I.; et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4–9, 2014.

DESHMUKH, D. S.; CHAUBE, U. C.; EKUBE, A.; ABERRA, D.; TEGENE, M. Estimation and Comparison of Curve Numbers Based on Dynamic Land use Land Cover Change, Observed Rainfall-Runoff Data and Land Slope. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 88-101, 2013.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavourapecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 31, n. 4, p. 771–780, 2007.

FOLEY, J. A.; FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; et al. Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, p. 570–574, 2005.

FREITAS, R. M. DE; ARAI, E.; ADAMI, M.; et al. Virtual laboratory of remote sensing time series : visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p. 57–68, 2011.

HRACHOWITZ, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G.; et al. A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a review. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 6, p. 1198–1255, 2013.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 25, 295–309, 1988.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3833–3845, 2008.

JÚNIOR, W.; SANTOS, R.; MONTOANI, B.; et al. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v. 221–222, p. 91–95, 2014.

GITHUI, F.; MUTUA, F.; BAUWENS, W. Estimating the impacts of land-cover change on runoff using the soil and water assessment tool (SWAT): case study of Nzoia catchment, Kenya. **Hydrological Sciences Journal**, v. 54, n. 5, p. 37–41, 2009.

MAREK, G. W.; GOWDA, P. H.; MAREK, T. H.; et al. Modeling long - term water use of irrigated cropping rotations in the Texas High Plains using SWAT. **Irrigation Science**, v. 35, n. 2, p. 111–123, 2016. Springer Berlin Heidelberg.

MÉNDEZ-BARROSO, L. A.; VIVONI, E. R.; WATTS, C. J.; RODRÍGUEZ, J. C. Seasonal and interannual relations between precipitation , surface soil moisture and vegetation dynamics in the North American monsoon region. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p. 59–70, 2009.

NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. “**National Engineering Handbook: ”Part 630 Hydrology**. 2004.

PAPROTNY, D.; SEBASTIAN, A.; MORALES-NÁPOLES, O.; JONKMAN, S. N. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. **Nature Communications**, v. 9, n. 2018, p. 1–12, 2018.

PARAJULI, P. B.; JAYAKODY, P.; SASSENATH, G. F.; OUYANG, Y.; POTE, J. W. Assessing the impacts of crop-rotation and tillage on crop yields and sediment yield using a modeling approach. **Agricultural Water Management** 119, v. 119, p. 32–42, 2013.

PIAO, S.; FRIEDLINGSTEIN, P.; CIAIS, P.; et al. Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO<sub>2</sub> on global river runoff trends. **PNAS**, v. 104, n. 39, p. 15242–15247, 2007.

ROSSMAN, L. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics**. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-17/111, Washington, DC. 2017.

ROXY, M. K.; GHOSH, S.; PATHAK, A.; et al. A threefold rise in widespread extreme rain events over central India. **Nature Communications**, p. 1–11, 2015.

SCS - Soil Conservation Service - Engineering Division. “**Section 4: Hydrology**.” National Engineering Handbook. 1972.

SCHARFFENBERG, B., BARTLES, M., BRAUER, T., FLEMING, M., AND KARLOVITS, G. “**Hydrologic Modeling System HEC-HMS User’s Manual.**” US ARMY. 2018.

RAZAVI, T.; COULIBALY, P. Streamflow prediction in ungauged basins: Review of regionalization methods. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 8, p. 958–975, 2013.

SRINIVASAN, R.; ZHANG, X.; ARNOLD, J. Swat ungauged: hydrological budget and crop yield predictions in the upper mississippi river basin. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 5, p. 1533–1546, 2010.

STERLING, S.; DUCHARNE, A. Comprehensive data set of global land cover change for land surface model applications. **GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES**, v. 22, p. 1–20, 2008.

STERLING, S. M.; DUCHARNE, A.; POLCHER, J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. **Nature Climate Change**, v. 3, n. April, 2013.

WANG, R.; KALIN, L. Modelling effects of land use/cover changes under limited data. **Ecohydrology**, v. 4, p. 265–276, 2011.

WILLIAMS, J. R., IZAURRALDE, R. C., AND STEGLICH, E. M. “**Agricultural policy/environmental extender model.**” Theoretical Documentation, Version, 604, 2008–2017. 2008.

YIN, J.; GENTINE, P.; ZHOU, S.; et al. Large increase in global storm runoff extremes driven by climate and anthropogenic changes. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 2018.

YIN, J.; HE, F.; XIONG, Y. J.; QIU, G. Y. Effects of land use / land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 21, p. 183–196, 2017.

YOUNG, R. A., ONSTAD, C. A., BOSCH, D. D., AND ANDERSON, W. P. “**AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds.**” J. SOIL WATER CONSERVAT. 1989.