

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos**



Tese

**Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Mirim-São  
Gonçalo e análise da influência do ENOS e de usos múltiplos da água**

**Lukas dos Santos Boeira**

**Pelotas, 2023**

**Lukas dos Santos Boeira**

**Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Mirim-São  
Gonçalo e análise da influência do ENOS e de usos múltiplos da água**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos.

**Orientador:** Dr. Gilberto Loguercio Collares  
**Coorientadora:** Dr<sup>a</sup>. Viviane Santos Silva Terra

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

B669m Boeira, Lukas dos Santos

Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica da Bacia  
Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e análise da influência do  
ENOS e de usos múltiplos da água / Lukas dos Santos  
Boeira ; Gilberto Loguercio Collares, orientador ; Viviane  
Santos Silva Terra, coorientadora. — Pelotas, 2023.

109 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em  
Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento  
Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Simulação hidrológica. 2. MGB. 3. Lagoa Mirim /  
Canal São Gonçalo. 4. El Niño. 5. La Niña. I. Collares,  
Gilberto Loguercio, orient. II. Terra, Viviane Santos Silva,  
coorient. III. Título.

CDD : 627

Lukas dos Santos Boeira

Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e  
análise da influência do ENOS e de usos múltiplos da água

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Recursos  
Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 10 de fevereiro de 2023

Banca examinadora:

.....  
Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (Orientador)  
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria.

.....  
Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch  
Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

.....  
Prof. Dr. André Becker Nunes  
Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

.....  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tirzah Moreira Siqueira  
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul.

***Dedico a minha avó Suely (in memoriam)  
que partiu no final dessa última etapa,  
sem ver sua conclusão.***

## **Agradecimentos**

À Deus e todos meus protetores, por me protegerem e guiarem a todas as conquistas.

Aos meus pais *João Boeira* e *Karine Santos*, que sempre estiveram ao meu lado em todos meus sonhos e ao meu padrasto e minha madrasta *André* e *Susana*.

Aos meus irmãos *Luana Boeira* e *Guilherme Rivero* por todo companheirismo e apoio no dia a dia.

Ao meu avô (*in memoriam*) *Hélio Boeira*, meu maior modelo de ser humano, que sempre me apoiou em tudo e me inspirou a ser quem sou e a minha avó (*in memoriam*) *Suely Boeira* que infelizmente nos deixou nessa reta final e não pode estar aqui vendo essa conquista se concretizar.

A minha Dinda *Sandra* e meu Dindo de coração *Eduardo* e meus Tios *Catiane* e *Magdiel*, por todo apoio e afeto em todas as jornadas que trilhei.

Aos meus orientadores professores *Gilberto Collares* e *Viviane Terra*, por toda orientação, apoio e direcionamentos nessa caminhada.

Aos meus colegas *Thais Possa* e *Gabriel Santos* que não mediram esforços para me ajudar nos momentos difíceis para concepção desta Tese.

A minha família ALM – HIDROSEDI, em especial os professores *Alexandre* e *Angélica*, ao Técnico *Reginaldo* e aos colegas *Arlene*, *George*, *Guilherme*, *Jamilson*, *Larissa*, *Leandra*, *Rafael* e *Victória* por estarem juntos, apoiando uns aos outros diariamente e a os colegas da ALM *Erika*, *Fabiane*, *Francine*, *Iocamara*, *Marília*, *Nádia*, *Patricia*, *Tiago* e *Tecieli*, por toda conversa e descontração.

Ao *Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos* da Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade e a todos seus professores, que de alguma forma fazem parte direta dessa conquista.

Aos meus colegas que trago da vida *Karina Rodrigues*, *Mariana Gontijo*, *Mélory*, *Michaela*, *Iulli* e *Roberto*, por estarem sempre juntos, mesmo distantes.

À *FAPERGS* pela bolsa concedida para a realização da presente Tese.

Por fim, à turma de 2019 do doutorado, às colegas *Jéssica Ogassawara*, *Leticia Mélo* e *Nelva Riquetti*, foi uma jornada louca, complicada e divertida! Sucesso sempre a nossa caminhada.

Muito Obrigado.

*"Se eu contar tudo o que eu passei, vocês não acreditariam. Às vezes nem eu acredito. Eu quero muito agradecer a mim, porque eu não desisti"*

*Larissa de Macedo Machado*

## Resumo

BOEIRA, Lukas dos Santos. **Modelagem Hidrológica - Hidrodinâmica da Bacia Hidrográfica Mirim - São Gonçalo e análise da influência do ENOS e de usos múltiplos da água**. Orientador: Gilberto Loguercio Collares. Coorientadora: Viviane Santos Silva Terra. 2023. 109f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

Com o crescimento populacional, a demanda pelos recursos hídricos vem aumentando para os mais diversos usos, como abastecimento público, dessedentação animal, industrial, irrigação, entre outros. Conhecer o comportamento da água na bacia hidrográfica é de extrema importância para um manejo eficiente dos múltiplos usos da água. Por isso, a modelagem hidrológica-hidrodinâmica se destaca ao simular, com fidelidade, os efeitos das mais diversas forçantes sobre uma bacia, como a precipitação, o vento e a evapotranspiração. Um dos modelos que vem se mostrando interessante em diversas pesquisas é o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB). A bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG) é uma bacia transfronteiriça, localizada entre o sul do Rio Grande do Sul e a porção nordeste do Uruguai com significativa importância ambiental, econômica e social para as populações que nela habitam. O presente estudo teve como objetivo aplicar a modelagem integrada para grandes bacias e corpos lagunares, em especial o modelo distribuído MGB, na BHMSG com a intenção de descrever os processos hidrodinâmicos sob efeito do El Niño Oscilação Sul (ENOS), sob as flutuações dos níveis de água decorrentes das entradas e saídas, naturais e antrópicas, no sistema, empregando o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) e Índice de Retirada de Água (IRA) para considerar o impacto da captação de água para os múltiplos usos na bacia. Como resultado, verificou-se que o MGB se apresenta como uma boa ferramenta para a modelagem hidrológica-hidrodinâmica, levando em consideração a influência dos ventos e, a partir das vazões e níveis calibrados atrelados aos usos múltiplos da água, analisados pelos índices ICH e IRA, foi evidente que a porção uruguaia da bacia se encontra em situação confortável de uso da água, demandando um cuidado mais criterioso aos usos quanto a porção brasileira da BHMSG. Por fim, as variáveis vazão e níveis apresentaram influência significativa em grande parte dos mananciais da BHMSG sob a regência do ENOS, sendo que foram observados valores significativamente superiores para os meses sob o efeito do El Niño e inferiores sob La Niña, indicando uma maior atenção quanto aos múltiplos usos dos mananciais para os meses de verão sob efeito da La Niña, especial uso da irrigação, que se destaca principalmente nos meses de dezembro a março.

Palavras-Chaves: Simulação Hidrológica. MGB. Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. El Niño. La Niña.



## Abstract

BOEIRA, Lukas dos Santos. **Hydrological Modeling - Hydrodynamics of the Mirim Hydrographic Basin - São Gonçalo and analysis of the influence of ENSO and multiple uses of water**. Advisor: Gilberto Loguercio Collares. Co-Advisor: Viviane Santos Silva Terra. 2023. 109f. Thesis (Doctorate in Water Resources) - Technological Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

With population growth, the demand for water resources has been increasing in the most diverse uses, such as public supply, animal watering, industry, irrigation and among others. Knowledge of the behavior of water in the hydrographic basin is extremely important for an efficient management of the multiple uses of water. Therefore, hydrological-hydrodynamic modeling has been highlighted in obtaining faithful simulations of the most diverse forcings in a basin, such as precipitation, wind and evapotranspiration. One of the models that has stood out in several studies is the Hydrological Large Basin Model (MGB). The Mirim - São Gonçalo Watershed (MSGW) is a transboundary watershed, located between the south of *Rio Grande do Sul* and the northeastern portion of Uruguay, with significant environmental, economic and social importance for the population that lives there. The present study aimed to apply the integrated modeling of large basins and lagoon bodies, in particular the distributed model MGB, in the MSGW with the intention of describing the hydrodynamic processes under the effect of the El Niño Southern Oscillation (ENSO), the fluctuations resulting from the water levels considering the inputs and outputs in the system, natural and anthropogenic, using the Water Commitment Index (WCI) and Water Exploitation Index (WEI) to consider the impact of water abstraction for multiple uses in the basin. As a result, it was found that the MGB is a good tool for hydrological-hydrodynamic modeling, taking into account the influence of winds and, based on the simulated flows and levels linked to the multiple uses of water, analyzed by the WCI and WEI, in which they showed that the Uruguayan portion of the basin is in a comfortable situation of use, demanding a more careful use of the Brazilian portion of the MSGW. Finally, the variables flow and levels had a significant influence on most of the MSGW springs under the influence of ENSO, and significantly higher values were observed for the months under the effect of El Niño and lower for La Niña, indicating a greater attention to the multiple uses of springs for the summer months under the effect of La Niña, in particular the use of irrigation, which stands out mainly from December to March.

Keywords: Hydrological Simulation. MGB. Watershed. Mirim Lagoon-São Gonçalo Channel. El Niño. La Niña.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1 -</b>	Resumo do funcionamento do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB).....	25
<b>Figura 2 -</b>	Vista aérea da Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa.....	30
<b>Figura 3 -</b>	Localização da Bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo.....	32
<b>Figura 4 -</b>	Fluxograma de pré-processamento para aplicação do modelo MGB.....	33
<b>Figura 5 -</b>	Modelo digital de elevação da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (com alteamento de 20 m) .....	34
<b>Figura 6 -</b>	Exemplificação da (A) codificação utilizada para determinar as oito direções de fluxo possíveis no método D8 e as (B) atribuições das direções de fluxo perante a regra de maior declividade.....	35
<b>Figura 7 -</b>	Fluxograma de aplicação do modelo MGB.....	38
<b>Figura 8 -</b>	Localização dos Postos Meteorológicos, Pluviométricos e Fluviométricos utilizados para o presente estudo.....	39
<b>Figura 9 -</b>	Dados observados disponíveis nos postos pluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020.....	40
<b>Figura 10 -</b>	Dados observados nos postos pluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020. Em tom de azul dado disponível e em branco período sem dado disponível.....	41
<b>Figura 11 -</b>	Dados observados nos postos fluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020. Em tons de azul dado disponível e em branco período sem dado disponível.....	42
<b>Figura 12 -</b>	Localização das Estações Linimétricas utilizadas para o presente estudo.....	43
<b>Figura 13 -</b>	Localização das Estações Convencionais com dados sub-diários de vento utilizados no estudo.....	45

<b>Figura 14 -</b>	Localização dos pontos outorgados para os usos da água com finalidade de abastecimento industrial, público, irrigação, mineração e pecuária na BHMSG.....	48
<b>Figura 15 -</b>	Discretização das sub-bacias e minibacias utilizadas na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo.....	54
<b>Figura 16 -</b>	Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) para a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, obtidos a partir do Mapa de URHs da América do Sul (FAN et al., 2015) .....	55
<b>Figura 17 -</b>	Valores das métricas de desempenho (A) NS, (B) NSLog e (C) Erro de Volume ( $\Delta V$ ) obtidos para o período de estudo (1980-2020) .....	58
<b>Figura 18 -</b>	Hidrogramas com dados observados (azul) e calibrados (vermelho) para o período de estudo (1980-2020) nas estações localizadas nos principais afluentes da BHMSG.....	59
<b>Figura 19 -</b>	Cotagramas diários observados e calibrados.....	62
<b>Figura 20 -</b>	Curvas de Permanência da vazão geradas pela modelagem proposta para as sub-bacias geradas na BHMSG comparado com os respectivos postos fluviométricos observados.....	65
<b>Figura 21 -</b>	Classificação do ICH para cada exutório das sub-bacias utilizada na modelagem na BHMSG.....	69
<b>Figura 22 -</b>	Classificação do IRA para as sub-bacias na BHMSG.....	72

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1 -</b>	Estações utilizadas para determinação das relações geomorfológicas do presente estudo.....	37
<b>Tabela 2 -</b>	Estações fluviométricas com dados de nível utilizadas no estudo.....	43
<b>Tabela 3 -</b>	Dados sub-diários de vento utilizados no estudo.....	45
<b>Tabela 4 -</b>	Classificação dos índices de desempenho aplicados no estudo.....	48
<b>Tabela 5 -</b>	Coeficientes de retorno referentes aos usos da água.....	49
<b>Tabela 6 -</b>	Classificação do Índice de Retirada de Água – IRA.....	51
<b>Tabela 7 -</b>	Classificação dos meses quanto a presença de El Niño, La Niña e neutralidade climática, de acordo com os valores de TSM.....	52
<b>Tabela 8 -</b>	URHs e suas respectivas áreas e porcentagens na BHMSG, obtidos a partir do Mapa de URHs da América do Sul (FAN et al.,2015) .....	55
<b>Tabela 9 -</b>	Estações fluviométricas e suas métricas de desempenho para variável vazão.....	56
<b>Tabela 10 -</b>	Médias dos níveis observados, calibrados e diferença entre elas.....	61
<b>Tabela 11 -</b>	Relação de outorgas por tipo de uso para a BHMSG.....	66
<b>Tabela 12 -</b>	Retirada de água (vazão total e %) para os usos múltiplos na BHMSG, obtidas a partir dos órgãos regulamentadores do Brasil e Uruguai.....	67
<b>Tabela 13-</b>	Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) para cada exutório das sub-bacias da BHMSG.....	68
<b>Tabela 14 -</b>	Índice Retirada da Água (IRA) para cada exutório das sub-bacias da BHMSG.....	71
<b>Tabela 15 -</b>	Vazões médias mensais calibradas para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção uruguaia.....	74

<b>Tabela 16 -</b>	Vazões médias mensais calibradas para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção brasileira.....	75
<b>Tabela 17 -</b>	Síntese dos resultados da análise estatística realizada para os dados de vazão sob influência do fenômeno ENOS na BHSMG.....	76
<b>Tabela 18 -</b>	Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção uruguaia.....	77
<b>Tabela 19 -</b>	Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção brasileira.....	78
<b>Tabela 20 -</b>	Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para a Barragem do Canal São Gonçalo - Jusante.....	79
<b>Tabela 21 -</b>	Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para o Porto de Santa Vitória do Palmar (Lagoa Mirim) e Santa Isabel do Sul (desembocadura do Canal São Gonçalo com a Lagoa Mirim) .....	80
<b>Tabela 22 -</b>	Síntese dos resultados da análise estatística realizada para os dados de níveis sob influência do fenômeno ENOS na BHSMG.....	81
<b>Tabela 23 -</b>	Média entre os valores de níveis médios mensais calibradas para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para o Porto de Santa Vitória do Palmar (Lagoa Mirim) e Santa Isabel do Sul (desembocadura do Canal São Gonçalo com a Lagoa Mirim).....	82

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ALM	Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim
ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
BHMSG	Bacia Hidrográfica Mirim – São Gonçalo
BHRC	Bacia hidrográfica do Rio das Contas
DINAGUA	<i>Dirección Nacional de Aguas</i>
EN	El Niño
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ET <sub>0</sub>	Evapotranspiração de Referência
EV	Erro Relativo de Volume
ICH	Índice de Comprometimento Hídrico
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INUMET	<i>Instituto Uruguayo de Meteorología</i>
IOS	Índice de Oscilação Sul
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IRA	Índice de Retirada de Água
K-S	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>
MDE	Modelos Digitais de Elevação
MGB	Modelo de Grandes Bacias
MHS	<i>Modify Heuristic Search</i>
NS	Nash-Sutcliffe
NSlog	Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões
NWS	National Weather Service
ONI	<i>Oceanic Niño Index</i>
OS	Oscilação Sul
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
SIOUT	Sistema de Outorgas de Água do Rio Grande do Sul
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
URHs	Unidades de Resposta Hidrológicas
WEI	<i>Water Exploitation Index</i>

## Sumário

<b>1 Introdução.....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos .....	18
1.1.1 Geral.....	18
1.1.2 Específicos .....	18
1.2 Hipótese .....	19
<b>2 Revisão da Literatura.....</b>	<b>20</b>
2.1 Modelagem Hidrológica.....	20
2.2 Modelagem Hidrodinâmica .....	22
2.3 Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) .....	24
2.4 Fenômeno Climático ENOS .....	26
2.5 Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo .....	28
<b>3 Metodologia .....</b>	<b>32</b>
3.1 Área de Estudo.....	32
3.2 Pré-Processamento para Modelagem de Grandes Bacias (MGB) .....	33
3.3 Modelagem de Grandes Bacia (MGB) – Modelo adaptado por Possa <i>et al.</i> (2022).....	38
3.3.1 Dados de Entrada - MGB .....	39
3.3.2 Modelo de Grandes Bacias (MGB) adaptado por Possa <i>et al.</i> (2022) .....	44
3.3.3 Processos da Etapa: MGB .....	46
3.3.4 Calibração do Modelo .....	47
3.4 Usos Múltiplos.....	48
3.4.1 Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) .....	49
3.4.2 Índice de Retirada de Água (IRA).....	50
3.5 Análise da influência do Fenômeno Climático ENOS.....	51
<b>4. Resultados e Discussões .....</b>	<b>54</b>
4.1 Pré-Processamento.....	54
4.2 Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica .....	56
4.3 Usos Múltiplos .....	66
4.3.1 Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) .....	67
4.3.2 Índice de Retirada de Água (IRA) .....	71
4.4 Influência do Fenômeno Climático El Niño Oscilação Sul .....	74
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>83</b>
<b>Referências .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo .....</b>	<b>94</b>
<b>Apêndice .....</b>	<b>99</b>

## 1 Introdução

Conhecer os efeitos da precipitação, que impõem modificações em diversas outras variáveis como vazão, nível da água, sentido de fluxo, direção e velocidade do vento é de extrema importância. Afinal, a partir desse entendimento, pode-se descrever os processos que darão suporte aos usuários de um manancial hídrico, desempenhando uma importante função no planejamento dos usos múltiplos da água e, em relação com o ambiente, necessário ao desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Os efeitos de eventos extremos e a influência de fenômenos climáticos, tais como o El Niño Oscilação Sul (ENOS), podem trazer significativas modificações em uma bacia hidrográfica, afetando diretamente a população local, os animais e as plantas, tanto nos períodos de seca como nas inundações.

Regiões com destaque para o setor agrícola e de pecuária estão diretamente ligados a problemáticas que podem surgir como possíveis influências de tais eventos, como é o caso da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG). Localizada entre o sul do Rio Grande do Sul e a porção nordeste do Uruguai, a BHMSG tem significativa importância econômica, social e ambiental para a sua população. Dentre os destaques das atividades econômicas mais relevantes na região estão a pecuária de corte e o cultivo de arroz irrigado, as quais requerem a utilização de grandes volumes de água, extraídos desse sistema, onde a Lagoa Mirim representa a maior fonte de armazenamento e abastecimento. Com isso, os usuários de água da bacia devem estar atentos a possíveis alterações do ENOS, entendendo suas principais influências na região.

Para contornar os efeitos negativos desses eventos, é de grande valia utilizar artifícios que simulem cenários distintos das possíveis realidades hidrológicas da bacia. Uma alternativa que tem sido utilizada é a modelagem hidrológica-hidrodinâmica, com o emprego da estratégia de melhor descrever processos. Com a modelagem hidrológica-hidrodinâmica é possível obter simulações fiéis aos diversos influenciadores de uma bacia, como a precipitação, o vento e a evapotranspiração. Um dos modelos com destaque em diversas pesquisas é o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB).



O MGB é um modelo distribuído, desenvolvido para bacias hidrográficas extensas, empregado para simular originalmente o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias. Ao longo dos anos, foram publicados estudos que utilizaram esse modelo, com o intuito de aprimorá-lo como, por exemplo, estudando questões sobre a forma na qual deveria ocorrer a subdivisão das bacias onde, na versão original, eram empregados elementos regulares de cerca de 10x10 km. Atualmente a discretização da bacia pode ser realizada em unidades irregulares, definidas a partir de dados de relevo, através de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

Com isso, a modelagem hidrológica-hidrodinâmica, mostra-se uma importante ferramenta para descrever as variações dos processos hidrológicos que a bacia Mirim-São Gonçalo está submetida, considerando a amplitude dos fenômenos que nela ocorrem. Essa ferramenta é capaz de expressar diferentes cenários, como períodos de secas e excessos hídricos, um diagnóstico hidrológico abrangente adequado ao planejamento e para tomada de decisão em todas as ações que demandam os usos da água na bacia hidrográfica, destacando-se a irrigação do arroz inundado e a pecuária.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Descrever os processos hidrodinâmicos da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, por meio de diferentes cenários, para identificar as possíveis flutuações dos níveis de água, considerando o efeito do El Niño Oscilação Sul, entradas e saídas naturais e antrópicas do sistema.

### **1.1.2 Específicos**

- Realizar a modelagem da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo empregando o modelo distribuído MGB adaptado e validado para a bacia;
- Avaliar a influência dos níveis de água e as variações nos volumes de água, sob a ótica da modelagem realizada;
- Avaliar as capacidades da Lagoa Mirim, sob regimes secos e de excessos hídricos, com relação aos múltiplos usos;
- Avaliar os efeitos dos eventos climáticos dos fenômenos El Niño e La Niña, considerando os níveis calibrados em relação aos observados;
- Estabelecer e assinalar limites de usos (saídas de água no sistema para usos múltiplos) com base em uma referência física - nível da água.

## 1.2 Hipótese

- I. Os eventos de El Niño, Oscilação Sul, influenciam os níveis da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, sendo que para os períodos regidos pelo El Niño os maiores níveis e para os períodos regidos por La Niña os níveis mais baixos;
- II. Associados à La Niña, nos meses de dezembro a março, o uso da água para o cultivo de arroz contribuem para redução dos níveis na Lagoa Mirim;
- III. O efeito dos ventos predominantes na primavera e verão influenciam os níveis da água na lagoa e em seus afluentes, interferindo na capacidade de oferta de água.

## 2 Revisão da Literatura

### 2.1 Modelagem Hidrológica

A compreensão de bacias hidrológicas é algo complexo, em contrapartida, os modelos hidrológicos são ferramentas cujo objetivo é representar o ciclo hidrológico em grandes áreas (SUEKAME *et al.* 2021). Em breve, problemas relacionados à escassez de água e o uso correto dos recursos hídricos estarão entre os grandes desafios a serem enfrentados pela humanidade. Para contornar tal situação, o uso de ferramentas como a modelagem hidrológica, apresenta-se eficaz em estudos relacionados a previsões sobre os efeitos das mudanças climáticas e do uso do solo, análises de disponibilidade de água e apoio à tomada de decisão, entre outras aplicações (FAN; COLLISCHONN, 2014).

A modelagem hidrológica consiste na representação da etapa terrestre do ciclo hidrológico, buscando quantificar, a partir do volume de água precipitado e da evaporação, diversas etapas do processo físico, como a vazão para uma bacia hidrográfica (SILVA, 2019). A partir da precipitação, a modelagem hidrológica fragmenta o conhecimento pela análise de cada um dos processos que ocorrem, como interceptação vegetal, evapotranspiração, infiltração e percolação e seus mais diversos balanços das águas (GOMES 2019, TUCCI, 2012).

A escolha de um modelo hidrológico está atrelada a fatores, como a variabilidade espacial dos processos hidrológicos, que podem ser divididos em: distribuído, semi-distribuído (consideram a variabilidade espacial) e os modelos concentrados (consideram toda a bacia hidrográfica homogênea) (KHAKBAZ *et al.*, 2012). Os modelos distribuídos consideram, em sua grande parte, a discretização da bacia hidrográfica em pequenas unidades, onde cada uma apresenta características específicas referentes a vegetação, tipo de solo e demais atributos que possuem influência sobre o comportamento hidrológico. Já os modelos semi-distribuídos, apresentam a discretização em pequenas sub-bacias que funcionam como um conjunto de vários pequenos modelos concentrados (PETRUCCI e BONHOMME, 2014).

Segundo Lopes (2017), a escolha entre os modelos distribuídos, semi-distribuídos e concentrados está diretamente relacionado à escala, objetivo do

estudo em questão. Para simulações de bacias em grande escala, os modelos concentrados são pouco aconselhados, devido à sua limitação na representação da variabilidade espacial e, com isso, os respectivos processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrográfica, sendo este modelo indicado para trabalhos em pequena escala.

Os modelos hidrológicos de larga escala foram inicialmente desenvolvidos na área de meteorologia para representar a fase terrestre de modelos numéricos de simulação do clima. Estes possuem comprometimento com a representação dos processos verticais do ciclo hidrológico como, por exemplo, a evapotranspiração e o armazenamento de água no solo, negligenciando a propagação de vazão pela rede de drenagem (PAIVA, 2009).

Essa ferramenta é um artifício que permite verificar a consistência das informações disponíveis (dados observados), que são em geral muito curtas, apresentando poucos dados, obtidas a partir das observações hidrológicas nas bacias hidrográficas. Com base nesses dados, os modelos hidrológicos podem ser calibrados, permitindo, a geração de séries simuladas e a utilização dos modelos como ferramenta de obtenção de dados em bacias não monitoradas (SANTOS, 2009).

Existem vários estudos de modelagem hidrológica para as mais diversas bacias hidrográficas, tais como Niquini *et al.* (2019) que realizou um estudo para a bacia do Córrego Ressaca, MG utilizando o modelo hidrológico através do *software* ABC – 6, onde o foco foi realizar a modelagem com objetivo de verificar a eficiência das técnicas compensatórias na diminuição da vazão de pico e consequente melhora na infiltração da água na bacia do Córrego Ressaca, constatando assim um impacto positivo no uso de telhados verdes e pavimentos permeáveis.

Santos *et al.* (2013) recorreu à modelagem hidrológica para a bacia do Rio Tapacurá, em Pernambuco, através do modelo SWAT com foco em analisar o escoamento superficial da bacia. Dentre os destaques de seus resultados estão uma boa calibração da vazão, apresentando um coeficiente de determinação igual a 0,9 e os maiores valores de escoamento superficiais foram encontrados nas sub-bacias que possuíam maiores concentrações de precipitação.

Outra bacia hidrográfica em Pernambuco estudada por Viana *et al.* (2017) foi a do Rio Pirapama, através do modelo SWAT, o qual foram inseridos dados meteorológicos de 2000 a 2006, mapas de uso do solo obtidos por duas imagens do satélite Landsat 5-TM (2005 e 2007), mapa digital de elevação de 30 m e mapa dos tipos de solo por meio do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco. Seus principais resultados foram de que o modelo subestimou os dados de vazão, principalmente no que se trata das vazões de pico.

Já Viola *et al.* (2009), realizou a modelagem hidrológica com o modelo hidrológico semi-conceitual desenvolvido com base nos modelos CN-SCS e pelo MGB, operando como formulação semi-distribuída e intervalo de simulação diário para a bacia do Rio Aiuruoca, em Minas Gerais. Seus resultados evidenciaram uma boa calibração do modelo, permitindo qualificá-lo para simulação do comportamento hidrológico na bacia de estudo.

## **2.2 Modelagem Hidrodinâmica**

A modelagem hidrodinâmica tem se destacado como uma ferramenta essencial para simular os vetores de velocidade e escoamento, além dos níveis de água para as mais diversas utilidades, como previsão de inundações e avaliações de risco para navegação (JIANG *et al.*, 2019). Tais modelos descrevem simulações físicas ou matemáticas que servem como um conversor de uma entrada em saídas como, por exemplo, vazões, vetores de velocidade, níveis de água e pressões, podendo gerar outros modelos diretos, semidiretos ou indiretos (LIU *et al.*, 2012; NOVAK *et al.*, 2010).

Nos últimos anos, a modelagem hidrodinâmica tem sido muito utilizada para a propagação de vazão em rios e, conseqüentemente a representação desses efeitos, o que podem ser obtidos através de modelos hidrodinâmicos completos e modelos hidrodinâmicos simplificados. A diferença entre os modelos é devido ao uso das equações de Saint-Venant - sendo a Equação 1 referente a equação da continuidade e a Equação 2 à dinâmica - em sua forma completa (hidrodinâmica completa) ou simplificando as equações (hidrodinâmico simplificado) (PONTES, 2011).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t}}_a + \underbrace{\frac{\partial (\frac{Q^2}{A})}{\partial x}}_b + \underbrace{g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x}}_c = \underbrace{g \cdot A \cdot S_0}_d - \underbrace{g \cdot A \cdot S_f}_e \quad (2)$$

Em que:

Q é a vazão, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

A é a área da seção transversal ao escoamento, em  $\text{m}^2$ ;

x é a distância no sentido longitudinal, em m;

t é o tempo, em s;

q é a vazão lateral por comprimento longitudinal, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

h é a profundidade do rio, em m;

$S_0$  é a declividade do fundo do rio, adimensional;

$S_f$  é a representação da perda de energia por atrito na calha do rio, adimensional;

g é a aceleração da gravidade, em  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ .

Segundo Fan *et al.*, (2014) a Equação 2 pode ser interpretada com um conjunto de forças e processos que atuam em um pequeno volume de controle, onde, o parâmetro “a” representa a inércia local, o parâmetro “b” a advecção da quantidade de movimento para dentro do volume de controle, o “c” a força associada à pressão, o “d” a força resultante do peso da massa da água no volume de controle e por fim, o “e” a força do atrito com o fundo e as margens do rio.

Para Pontes (2011), os modelos hidrodinâmicos completos representam os efeitos de amortecimento, translação, efeitos de jusante e a planície de inundação, além de propagarem a onda de cheia conservando o volume do hidrograma e simulando bem as vazões de pico. Porém, podem exigir um alto custo computacional, especialmente se o modelo necessita ser aplicado diversas vezes e em muitos períodos. Sendo assim, o aperfeiçoamento, desenvolvimento e utilização de modelos hidrodinâmicos simplificados tornam-se mais usuais, visando contemplar os efeitos representados por modelos hidrodinâmicos completos.

### 2.3 Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB)

O MGB, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) por Collischonn (2001), com base nos modelos LARSIM (BREMICKER, 1998) e VIC (LIANG *et al.*, 1994; NIJSSEN *et al.*, 1997) com algumas modificações nos módulos de evapotranspiração, percolação e propagação de vazões (FAN, 2011).

Trata-se de um modelo distribuído, aplicado em grandes bacias hidrográficas, direcionado para entrada de dados usuais disponíveis em grande parte do Brasil, como precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica. Com tais informações, o modelo possibilita calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica (COLLISCHONN *et al.*, 2007).

Este é considerado um modelo hidrológico baseado em processos, o que significa que são utilizadas equações físicas e conceituais para simular o ciclo hidrológico continental, incluindo o balanço de água e energia do solo, escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, evapotranspiração e interceptação de água no dossel das plantas (COLLISCHONN *et al.*, 2020; PONTES *et al.*, 2015).

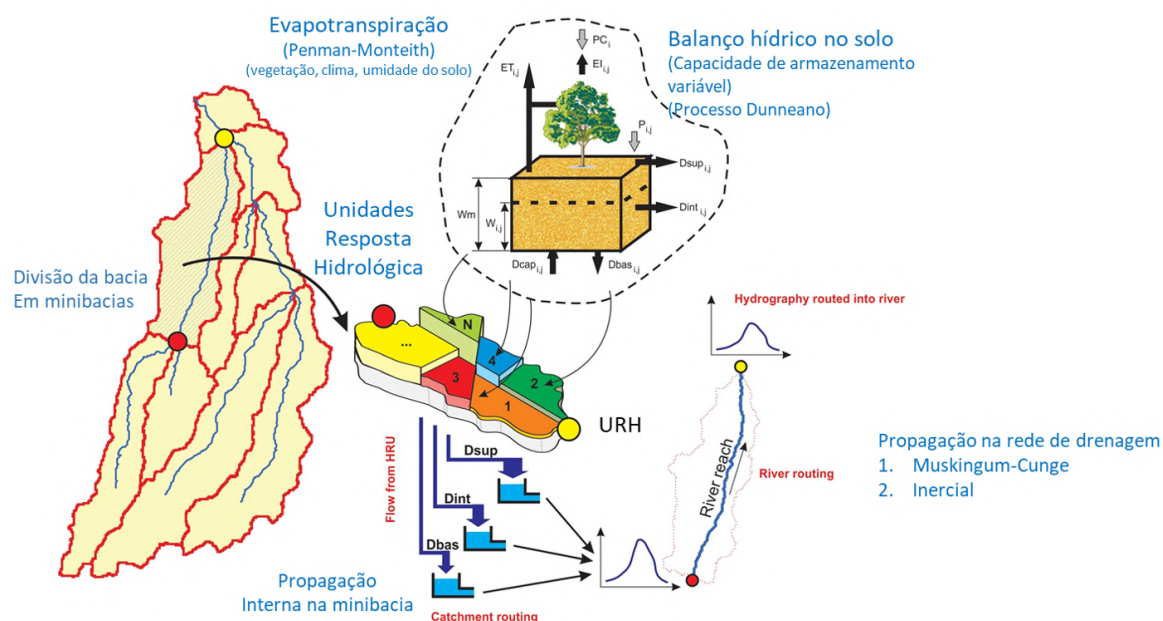
Para ser utilizado, os dados de entrada solicitados pelo modelo consistem em séries hidrológicas temporais de precipitação, das vazões observadas, das variáveis climáticas e dos dados espaciais. Esses dados especiais representam características topográficas, como tipo e cobertura do solo e hidrografia da bacia, obtidos através do pré-processamento de modelos digitais de elevação (MDE) e mapas de vegetação e referente ao tipo e uso do solo. A partir do seu processamento e reclassificação dos mapas de solo e vegetação, são definidas as classes de respostas hidrológicas, apresentando o seu comportamento hidrológico específico, considerando a variabilidade das características físicas da bacia hidrográfica (LOPES, 2017).

Na versão original o modelo MGB utilizava uma forma de divisão da área da bacia hidrográfica em unidades regulares (células). Na versão atual a bacia hidrográfica é dividida em pequenas sub-bacias, denominadas minibacias — que funcionam como um pequeno modelo concentrado — utilizando as técnicas do conjunto de ferramentas do ArcHydro (HGE, 2021). Além desta divisão também



há separação da bacia em Unidades de Respostas Hidrológicas (URH), que são obtidas a partir dos solos da região junto ao uso e ocupação presentes na área, as quais possuem características comportamentais semelhantes no quesito de hidrologia (PONTES *et al.* 2015).

Após a definição das URH, torna-se possível o cálculo do balanço de energia, que inclui a evapotranspiração, obtida através da equação de Penman-Monteith. A propagação de vazão das redes de drenagem, calculadas pelo método de Muskin-Cunge e pela aproximação inercial das equações de Saint-Venant, conforme é detalhada em Collischonn *et al.* (2007), Fan *et al.* (2014) e Pontes *et al.* (2015). Um resumo de seu funcionamento é apresentado pela Figura 1:



**Figura 1** - Resumo do funcionamento do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB).  
Fonte: HGE, 2021

Estudos utilizando o MGB foram desenvolvidos para diversas localidades: Brito Neto *et al.* (2021), que empregou diferentes cenários de uso e ocupação de solo para a bacia do Rio Pardo; Oliveira *et al.* (2016), para a bacia do Alto Teles Pires, MG; Meller *et al.* (2012) no Rio Piracicaba; Possa *et al.* (2022) para a bacia Mirim-São Gonçalo considerando a influência do vento; Fan e Collischonn (2014) para bacia do Rio Ijuí, RS; Lopes *et al.* (2015) para a Laguna dos Patos, RS; Fleischmann *et al.* (2015) na bacia do Rio Taquari-Antas, RS e Pontes *et al.*

(2015) para a bacia do Rio Araguaia, Suekame *et al.* (2021) que utilizou modelo na bacia do Alto Taquari com objetivo de testar combinações de futuros cenários de mudança climática, uso e ocupação do solo, de modo a detectar alterações em variáveis hidrológicas; e Vergasta *et al.* (2021) que avaliou o balanço de água na bacia do Rio Madeira através do MGB e do modelo regional climático Eta.

## 2.4 Fenômeno Climático ENOS

O fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENOS), considerado de grande escala, ocorre no Oceano Pacífico tropical e tem sido apresentado em estudos pioneiros como de Walker (1923) e Walker e Bliss (1930), os quais documentaram pela primeira vez a ocorrência dele em escala global. Tal fenômeno refere-se a uma combinação de dois mecanismos que demonstram, de forma marcante, o vínculo existente entre o oceano e a atmosfera. O componente oceânico do fenômeno é representado pelo El Niño (EN), enquanto a Oscilação Sul (OS) representa a contrapartida atmosférica (BERLATO; FONTANA, 2003, GLANTZ e THOMPSON, 1981, GLANTZ, 2001).

O componente oceânico (EN), originariamente designava uma corrente marítima quente para o sul do Pacífico, ao longo da costa do Peru e do Equador. O nome de El Niño foi dado pelos marinheiros da região em referência ao Menino Jesus, já que o aparecimento dessa corrente ocorria com maior frequência próximo ao Natal. Posteriormente, esse fenômeno foi associado com variações na temperatura da superfície do mar com caráter mais intenso e abrangente. Este componente é atualmente monitorado, principalmente, através da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em locais definidos ao longo da região equatorial do Oceano Pacífico (TRENBERTH, 1997).

No que lhe concerne, o componente atmosférico (OS) expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico. Quando a pressão é alta a leste, usualmente é baixa a oeste, e vice-versa. O Índice de Oscilação Sul (IOS) é utilizado no monitoramento deste componente, definido como a diferença entre os desvios normalizados da pressão na superfície entre as regiões do Oceano Pacífico como Taiti, na Polinésia Francesa, e Darwin, norte da Austrália (TRENBERTH, 1997).

A caracterização do ENOS, definida pelo grupo *Ocean Research, SCOR WG 55* (SCOR, 1983), tem a sua fase quente conhecida como El Niño, considerado quando apresenta temperatura da superfície do mar (TSM) acima do normal (superior a  $0,5^{\circ}\text{C}$ ) e a fase fria conhecida como La Niña (com TSM abaixo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ ). Por sua vez, quando a TSM está dentro da normalidade, ou seja, com média entre  $-0,4^{\circ}\text{C}$  a  $0,4^{\circ}\text{C}$  é considerado em períodos de neutralidade climática (NOAA, 2021; NETO, BARBOSA e ARAÚJO, 2007, TRENBERTH, 1997).

No Brasil, o ENOS pode causar anomalias climáticas de precipitação pluviométrica nas regiões Sul e Nordeste (BERLATO; FONTANA, 2003; DIAZ *et al.*, 1998; GRIMM *et al.*, 1998). No sul do país, a fase quente, em geral, apresenta um excesso de precipitação e a fase fria uma precipitação abaixo do normal. Já para a região do nordeste, verifica-se o inverso (RAO e HADA, 1990; CHU, 1991; STUDZINSKI 1995). Contudo, na região de Pelotas-RS, Boeira *et al.* (2017a) relatam que a área apresenta uma precipitação média mensal acumulada menor para os períodos regidos pelo La Niña, quando comparado aos períodos regidos pelo El Niño e pela neutralidade climática.

Outro elemento meteorológico afetado pelo ENOS seria a temperatura. Berlato e Fontana (2003) relatam que ocorrem desvios de temperatura média mínima e média máxima mensais para os anos de ENOS em relação aos anos neutros, no estado do Rio Grande do Sul. Para a região de Pelotas-RS, Karsburg *et al.* (2017) verificou as temperaturas médias do ar e umidade relativa média do ar durante 40 anos, nos períodos de El Niño, La Niña e neutralidade climática. Sua análise apresentou que para esta região a temperatura média do ar e a umidade relativa média do ar foi superior em quase todos os meses em períodos de El Niño, quando comparado aos períodos regidos pelo La Niña e neutralidade.

Em relação a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), para a microrregião de Pelotas-RS, Boeira *et al.* (2020) constatou, que o fenômeno climático ENOS exerce influência significativa na  $ET_0$  da região nos meses de novembro e dezembro, sendo os períodos regidos pelo La Niña apresentando uma  $ET_0$  média superior.

Por sua vez, Boeira *et al.* (2017b) apresentam um estudo tratando a influência do ENOS na produção de arroz irrigado para a mesma região onde, nos períodos de El Niño a cultura do arroz apresentou uma produção inferior

quando comparada às produções regidas pelo período de La Niña e de neutralidade. Para os autores, o resultado dos valores elevados de produção que os períodos de La Niña apresentaram deve-se a maior incidência de radiação nos solos na região durante o período de desenvolvimento da planta. Ainda tratando da influência no cultivo do arroz irrigado para a região da BHMSG, Boeira *et al.* (2021) apresentam que o Índice do Niño Oceânico (ONI - *Oceanic Niño Index*), em grande parte dos meses, obteve correlações negativas significativas com a produtividade de arroz irrigado para as regiões da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo com destaque para os meses de início do cultivo (agosto a novembro).

## 2.5 Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo

A bacia hidrográfica Mirim - São Gonçalo é uma importante bacia transfronteiriça, que possui um regime de águas compartilhadas, delimitando a fronteira desse espaço geográfico binacional, limitando-se ao extremo-sul do Brasil e leste do Uruguai (ALM, 2023).

Para a porção brasileira, a BHMSG compreende 21 municípios sendo eles: Aceguá, Arroio do Padre, Arroio Grande, Bagé, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Hulha Negra, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande, Santa Vitória do Palmar e Turucu. Já na sua porção uruguaia encontram-se entre cinco departamentos: *Cerro Largo, Lavalleja, Maldonado, Rocha e Treinta y Tres* (FERNANDES *et. al.*, 2021).

Com grande importância para o cenário histórico referente à delimitação de fronteira internacional com o Uruguai, a região onde encontra-se a bacia já passou por diversas alterações de limites durante o processo histórico de construção das fronteiras territoriais entre o Brasil e o Uruguai, sendo determinado por diversos aspectos, em que, na maioria das vezes, as fronteiras territoriais são estabelecidas por aspectos físicos, em destaque, os cursos d'água (STEINKE, 2008).

Para o *Plan Nacional de Aguas* do Uruguai (MVOTMA, 2017), a BHMSG é de grande importância, onde encontra-se 16% de toda superfície do Uruguai, com 5% de toda população (cerca de 154.699 habitantes uruguaios, os quais

92% residem em área urbana e 8% em área rural). Destaca-se ainda, que a região — porção uruguaia a qual é apresentada no *Plan* — é a principal responsável pela produção de arroz no Uruguai, com cerca de 70% do total da área superficial destinada ao cultivo de arroz irrigado, além de pecuária.

Um dos principais mananciais presentes na BHMSG é a Lagoa Mirim, localizada na porção meridional do estado do Rio Grande do Sul e na parte leste do Uruguai. Esta possui uma área de superfície com 3.750 Km<sup>2</sup>, sendo 2.750 Km<sup>2</sup> em sua porção brasileira e 1.000 Km<sup>2</sup> na porção uruguaia e uma largura média de 20 Km. Trata-se de uma das mais importantes lagoas de água doce do território brasileiro e da América Latina, onde é superada apenas pela Laguna dos Patos, a qual possui ligação (FERNANDES et. al., 2021). Suas águas escoam através do canal São Gonçalo, em direção à Laguna dos Patos, e depois são lançadas no Oceano Atlântico, pelo canal de Rio Grande (POSSA et al., 2022).

Por conta da sua forte ligação com a cultura do arroz irrigado, as águas da Lagoa Mirim são utilizadas pelos agricultores da região para a inundação das lavouras, sendo o principal uso das águas do manancial, seguido pelo abastecimento público (SEMA, 2022). Para isso, faz-se necessária a disponibilidade de água doce, entretanto, o canal São Gonçalo, que possui normalmente o escoamento no sentido Lagoa Mirim – Laguna dos Patos, apresenta um regime hidrológico que inverte seu fluxo periodicamente. Disposto em relevo predominantemente plano, está sob a influência dos ventos e dos níveis da Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim (HARTMANN et al., 1986; HARTMANN e HARKOT, 1990).

Uma problemática encontrada na inversão de fluxo é a questão da ligação entre o Oceano com a Laguna dos Patos, já que a influência dos ventos, podem levar a água salina para o Canal São Gonçalo e, por consequência, até a Lagoa Mirim, impossibilitando o uso da água para a irrigação. Para contornar esse problema da intrusão salina na Lagoa Mirim, foi construída a Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa (Figura 2), no ano de 1977, na extremidade nordeste do canal São Gonçalo, com 245 m de comprimento (GOUVÊA; ZARNOT; ALBA, 2010).



**Figura 2** – Vista aérea da Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa.  
Fonte: ALM, 2022.

Para utilizar as águas dos mananciais presentes ao longo da bacia, faz-se necessário a obtenção da outorga do uso da água, um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder Público permite ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo, finalidade e condição expressa no respectivo ato (DAEE, 2022).

No Brasil, a outorga faz parte da Política Estadual de Recursos Hídricos, como um dos seus instrumentos, podendo ser solicitada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para casos de mananciais hídricos de responsabilidade da União ou para o Departamento de Recursos Hídricos (DRH-SEMA) nos casos de mananciais que não se enquadram na descrição anterior e encontram-se no território do Rio Grande do Sul (SEMA, 2023). No caso do Uruguai, é chamado como *Permisos para los Aprovechamientos de Recursos Hídricos*, mas possuem o mesmo objetivo do Brasil, sendo elas obtidas através da *Dirección Nacional de Aguas* (MVOTMA, 2022).

Atualmente, as outorgas para captação de água da Lagoa Mirim para uso na irrigação são autorizadas a partir da média dos níveis observados nas réguas linimétricas, localizadas em Santa Isabel do Sul (Arroio Grande) e no Porto de Santa Vitória do Palmar, operadas pela Agência para o Desenvolvimento da

Bacia da Lagoa Mirim (ALM). Sendo permitido a captação quando o valor médio do nível entre os pontos for igual ou superior a 0,5 m (IBAMA, 2023).

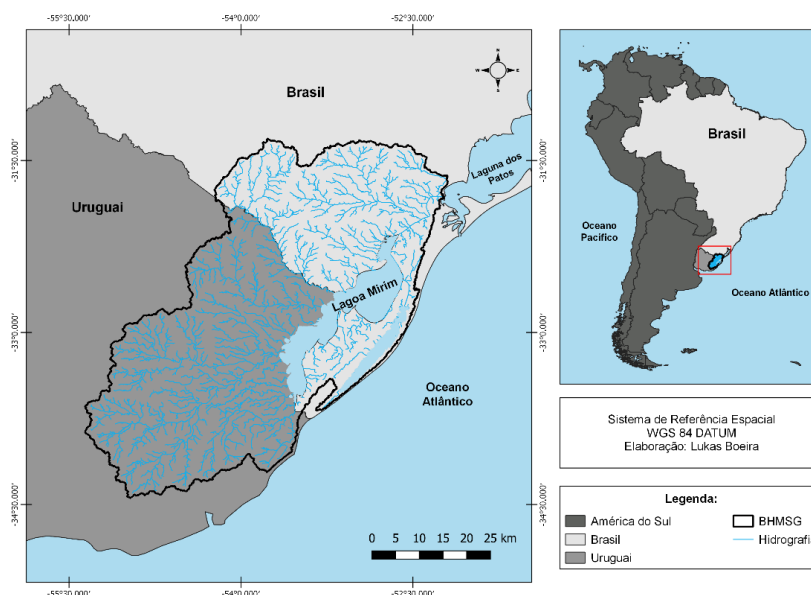
Para um bom planejamento das águas da bacia, estudos de modelagem hidrológica-hidrodinâmica vêm se mostrando de grande valia para o entendimento de grandes bacias hidrográficas. Atualmente, existem estudos voltados para a região da BHMSG sobre os processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim (OLIVEIRA et al., 2015; POSSA et al., 2022).

Tais estudos são importantes, visto que o recurso hídrico oriundo dos mananciais da BHMSG é de grande relevância para diversas atividades. Segundo Steinke e Saito (2008), a BHMSG apresenta seus principais conflitos de uso da água relacionados a produção de grãos (orizicultura como destaque) e pecuária de corte para comércio interno e externo (situação de destaque na porção uruguaia da bacia).

### 3 Metodologia

#### 3.1 Área de Estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (Figura 3), uma bacia transfronteiriça, localizada entre o Brasil e o Uruguai, cujas coordenadas geográficas são 31°30' a 34°35' de latitude Sul e 53°31' a 55°15' de longitude Oeste, com uma superfície de aproximadamente 62.250 km<sup>2</sup>, em que 29.250 km<sup>2</sup> (47%) são em território brasileiro e 33.000 km<sup>2</sup> (53%) em território uruguaio (FERNANDES *et al.*, 2021).



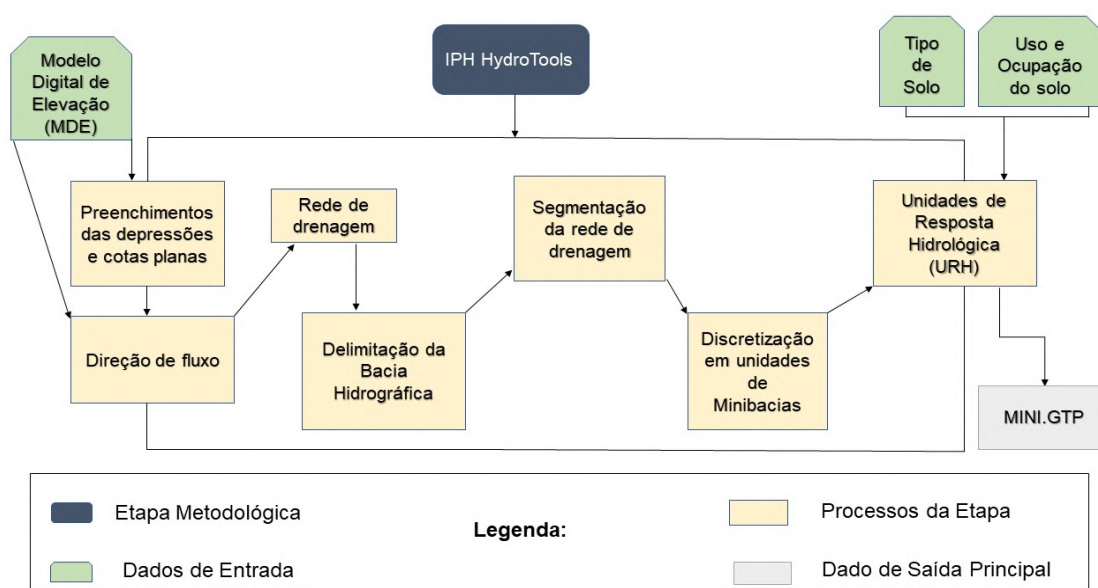
**Figura 3** - Localização da Bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo.  
Fonte: Próprio autor.

Tratando-se do clima, a região apresenta uma precipitação média mensal de aproximadamente 103 mm (média registrada entre o período de 1971 até 2020 para o mês de dezembro) a 150 mm (para o mês de fevereiro, no mesmo período), com um total anual médio de 1.399 mm e uma evapotranspiração de referência variando de 36 mm (junho) até 150 mm (dezembro) e média anual de 1.080 mm (BOEIRA *et al.* 2021). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo "Cfa", enquadrado como temperado úmido, com verões quentes e apresentando chuvas bem distribuídas durante todo o ano (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).



### 3.2 Pré-Processamento para Modelagem de Grandes Bacias (MGB)

A modelagem no MGB foi realizada seguindo um roteiro pré-estabelecido e apresentado por Alves *et al.* (2020), a qual, utiliza a ferramenta IPH-Hydro Tools para o pré-processamento dos dados, através do *software* livre de SIG *Quantum GIS - QGIS*. O fluxograma para o pré-processamento é apresentado pela Figura 4.



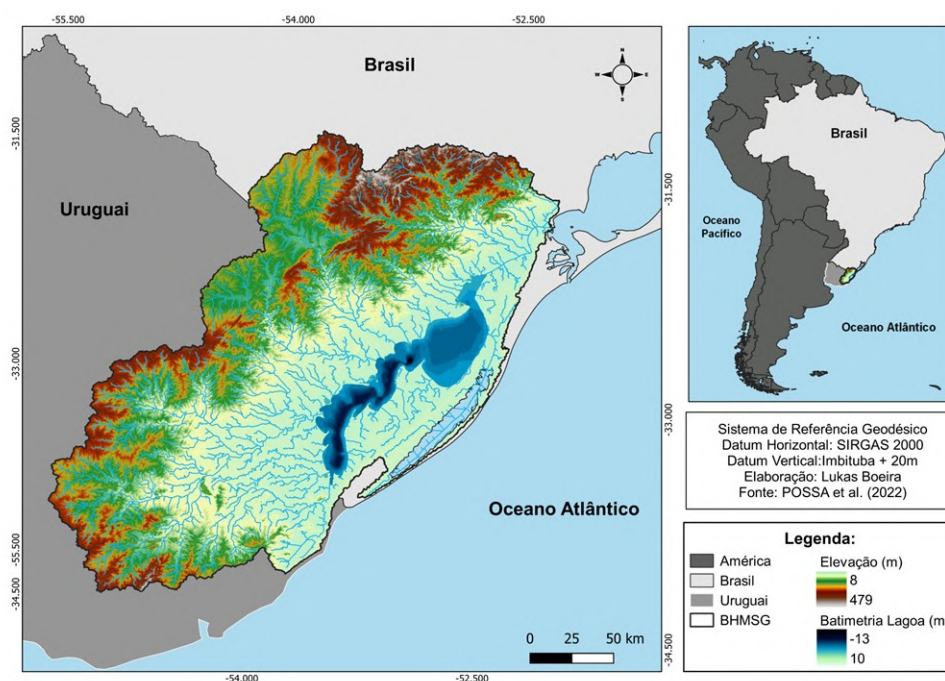
**Figura 4** - Fluxograma de pré-processamento para aplicação do modelo MGB.

Fonte: Adaptado de Alves *et al.* (2020).

Para dar início ao pré-processamento, foi obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE) para a BHMSG, com o objetivo de capturar informações do relevo da área em estudo, sendo utilizado o MDE da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), de resolução espacial de 90 m e resolução vertical de 1 m. Estudos que utilizam o MGB utilizam a mesma resolução visto que, resoluções mais refinadas podem aumentar o tempo de processamento e impossibilitar o funcionamento na ferramenta IPH-Hydro Tools. Entretanto, a região de estudo apresenta áreas planas no MDE, gerando assim a necessidade de determinar a rede de drenagem correta que possibilite a conexão entre a Lagoa Mirim e o Canal São Gonçalo, representando a hidrografia presente na BHMSG.

Para isso, foi utilizado o MDE de Possa *et al.* (2022) (Figura 5), o qual a autora interpolou dados de batimetria, a partir da digitalização da carta de hidrografia e navegação da Marinha do Brasil no MDE do SRTM. A interpolação consistiu na operação de mapas, sendo o modelo SRTM subtraído pelo interpolado. Tal processo resultou em valores negativos de altimetria, representando assim as áreas das lagoas do MDE. Visto que o valor de altimetria do SRTM era zero. Com isso, foi utilizado para geração de informações de área alagada e cota do nível d'água em cada minibacia.

Como o modelo MGB discretiza a bacia em minibacias a partir da rede de drenagem, foi somado o valor de 20 m ao MDE tornando todas as células positivas, para compensar o escavamento da calha na lagoa gerado pela inserção da batimetria. Uma vez que, em determinados locais da Lagoa Mirim pode encontrar profundidade próxima a 20 m.



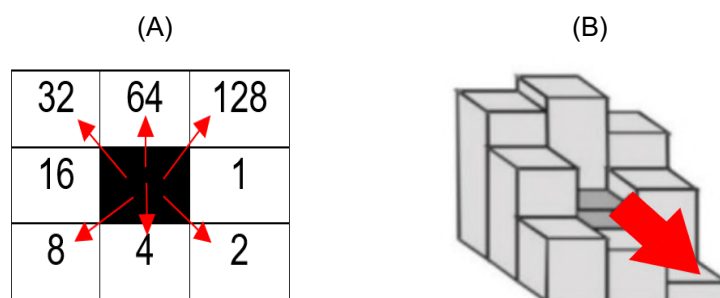
**Figura 5** - Modelo digital de elevação da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (com alteamento de 20 m).

Fonte: Próprio autor.

Logo após, foi realizada a remoção das depressões dos arquivos *raster* (MDE), a partir do método *Modify Heuristic Search* (MHS), o qual, segundo Siqueira *et al.* (2016) é um dos métodos que traz melhores resultados. Este

remove as depressões a partir da tendência do escoamento do MDE no entorno das mesmas, sendo utilizado para evitar uma procura sem referência prévia.

Com a remoção das depressões, foi identificada as direções de fluxo de cada célula, pelo Método D8, proposto por Marks, Dozier e Frew (1984) e O'Callaghan e Mark (1984), sendo possível identificar as oito direções de fluxo (Figura 6).



**Figura 6** – Exemplificação da (A) codificação utilizada para determinar as oito direções de fluxo possíveis no método D8 e as (B) atribuições das direções de fluxo perante a regra de maior declividade.

Fonte: Adaptação de Buarque et al. (2009); Siqueira et al. (2016).

Com a determinação das direções de fluxos, foram geradas as áreas de acúmulo somando a área das células nas direções indicadas. Sendo que, para cada célula é atribuído um valor com o número de células que drenam a água até ela e, com isso, foi extraída a rede de drenagem, feita a partir das definições de um limiar de área acumulada, representando o número mínimo de células necessárias para começar o curso de água (FAN *et al.*, 2013). O valor utilizado no presente estudo foi de 20 km<sup>2</sup>.

Para a discretização da BHMSG foi utilizada a ferramenta “*Stream-Burning*” (HUTCHINSON, 1989), na extensão do ArcHydro presente no ArcGis, resultando na inserção de uma camada de hidrografia vetorizada de forma manual. A partir dessa, definiu-se a rede de drenagem correta, que mais representa a realidade da região, como a conexão entre a Lagoa Mirim e o Canal São Gonçalo. Com isso, a discretização foi realizada a partir de sub-bacias e minibacias, sendo as primeiras sub-bacias definidas como unidades de drenagem que abrangem uma grande quantidade de minibacias, delimitadas a partir da localização das estações fluviométricas da área de estudo, considerando o exutório da BHMSG. Tais delimitações são de grande importância para a calibração do modelo hidrológico posteriormente. Por sua vez, as minibacias consistem no trecho da drenagem gerado pelo *ArcHydro*

*Segmentation*, em que cada área possui um contribuinte próprio na qual a água precipitada é drenada para esse segmento. Em suma, a obtenção e definição da rede de drenagem da BHMSG foi gerada através da ferramenta “*Stream-Definition*” do IPH-Hydro Tools.

Outro ponto importante do pré-processamento, é a determinação das classes de respostas hidrológicas, que consistem em regiões da bacia que apresentam características semelhantes, referentes aos tipos e uso do solo e de atributos geológicos. Em teoria, estas unidades apresentariam uma mesma resposta para os parâmetros da modelagem, como geração de escoamento e capacidade de armazenamento da água no solo (MEDEIROS *et al.*, 2019). Para isso, os parâmetros foram obtidos através das Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs), pelo Mapa de URHs da América do Sul, desenvolvido por Fan *et al.* (2015) (disponibilizado pelo HGE na página <https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/sensoriamento-remoto/mapa-de-urhs-da-america-do-sul/>), com resolução de 450 m, os quais, apresentam resultados satisfatórios para a aplicação do modelo MGB, sendo dividido em 9 classes:

- I. Floresta + Solo Raso;
- II. Floresta + Solo Profundo;
- III. Agricultura + Solo Raso;
- IV. Agricultura + Solo Profundo;
- V. Campo + Solo Raso;
- VI. Campo + Solo Profundo;
- VII. Zonas Úmidas;
- VIII. Áreas Semipermeáveis;
- IX. Água.

Após a análise das URHs, foram determinadas as relações geomorfológicas, através das larguras e profundidade de cada trecho das minibacias, com os dados de descargas das estações disponíveis no HidroWeb pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), listadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Estações utilizadas para determinação das relações geomorfológicas do presente estudo.

Estação	Nome	Manancial	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Prof. média (m)	Largura média (m)
88220000	Picada da Areia	Rio Jaguarão	5420	2,32	90,00
88260000	Passo das Pedras	Rio Jaguarão	6920	2,69	112,82
88400000	Granja Santa Marta	Arroio Chasqueiro	281	0,22	23,76
88550000	Ponte do Império	Rio Piratini	1870	0,67	75,22
88560001	Picada Nova	Rio Piratini	2240	1,46	55,87
88575000	Cerro chato	Arroio Basílio	1050	0,75	54,26
88641000	Pedro Osório	Rio Piratini	4700	1,24	131,06
88680000	Passo do Ricardo	Rio Piratini	5410	1,53	114,72
88750000	Passo dos Carros	Arroio Fragata	131	0,44	12,11

Fonte: ANA, 2021.

As equações utilizadas para determinação das relações geomorfológicas são apresentadas nas Equações 3 e 4.

$$H_{rio_i} = c \times Ad_i^d \quad (3)$$

Em que:

$H_{rio_i}$  é a profundidade da calha na minibacia i (m);

$Ad_i$  é a área de drenagem na minibacia i (km<sup>2</sup>);

$c$ ,  $d$  são parâmetros do ajuste da equação potencial, sendo que, considerando os dados das estações, obteve-se o valor de  $c = 0,0212$  e  $d = 0,5137$ .

$$B_{rio_i} = a \times Ad_i^b \quad (4)$$

Em que:

$B_{rio_i}$  é a largura da calha na minibacia i (m);

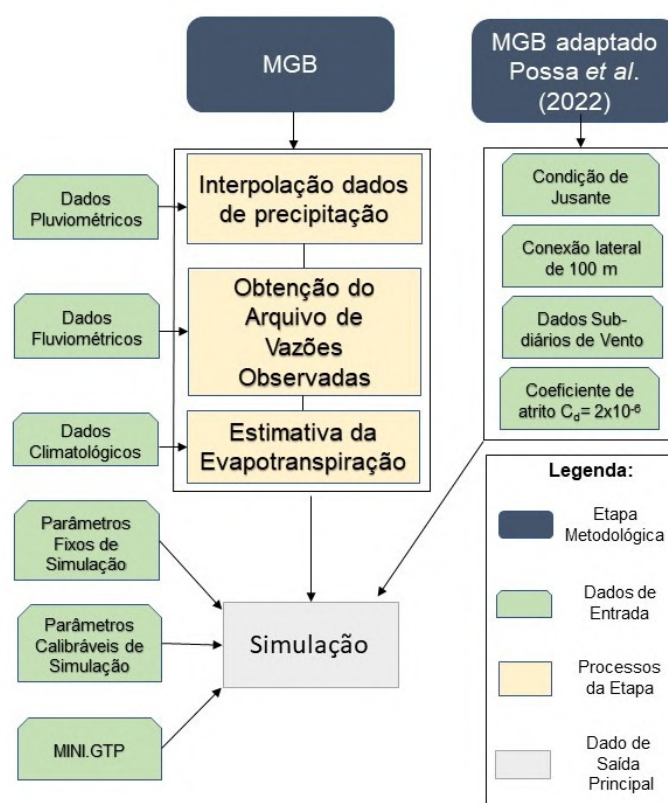
$Ad_i$  é a área de drenagem na minibacia i (km<sup>2</sup>);

$a$ ,  $b$  são parâmetros do ajuste da equação potencial, sendo que, considerando os dados das estações, obteve-se o valor de  $a = 0,9739$  e  $b = 0,5517$ .

Com isso, foi utilizada a ferramenta “MGB Tools/MGB-Processing”, a qual possibilitou definir alguns parâmetros, com os quais, foram gerados os arquivos base para a simulação com o MGB. Após gerar esses arquivos base, utilizou-se a ferramenta “*Perform Preprocessing*”, gerando três novos arquivos, em especial o MINI.GTP.

### 3.3 Modelagem de Grandes Bacia (MGB) – Modelo adaptado por Possa *et al.* (2022)

Após realizar o pré-processamento, o Modelo de Grande Bacias (MGB) foi utilizado, através do plugin MGB nativo com o método inercial (BATES *et al.*, 2010) adaptado ao esquema numérico por Pontes *et al.* (2015, 2017) e por Possa *et al.*, (2022), como descrito no tópico 3.3.2, sendo apresentado um fluxograma dessa etapa pela Figura 7.

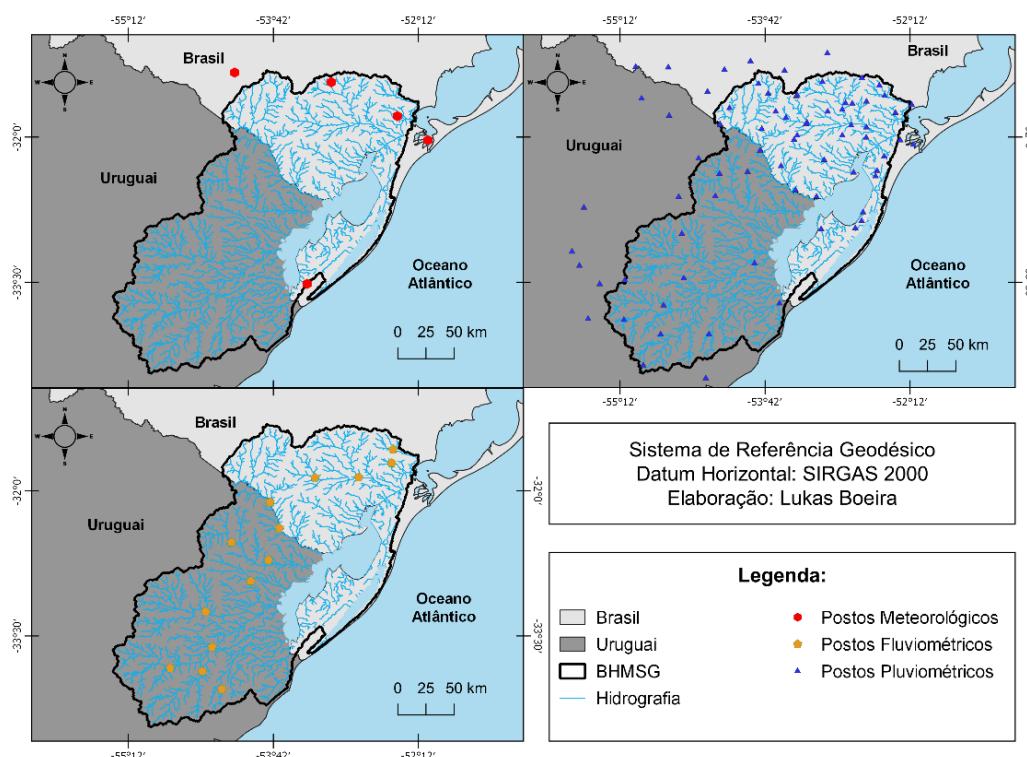


**Figura 7** - Fluxograma de aplicação do modelo MGB.  
Fonte: Próprio Autor.

Destaca-se que os processos da etapa em questão e a primeira simulação foram realizadas através do *software* livre de SIG Quantum GIS – QGIS, utilizando o MGB tradicional e, a partir da primeira simulação, foram inseridas as informações de condição de jusante, conexão lateral, dados de velocidade e direção do vento e o coeficiente de atrito diretamente nos códigos-fontes do MGB modificados por Possa *et al.* (2022). A modelagem está realizada e validada especialmente para a BHMSG. Logo após foram realizadas as simulações seguintes através do Visual Studio na linguagem FORTRAN.

### 3.3.1 Dados de Entrada - MGB

Os dados hidrometeorológicos de entrada para o MGB (Figura 8) foram extraídos de 158 postos pluviométricos, dos quais foram considerados para o estudo 82 por conta dos períodos de falhas, 15 postos fluviométricos e 5 postos meteorológicos da região de estudo. Dentre esses, localizam-se 26 postos pluviométricos e 9 fluviométricos no Uruguai, os quais são operados pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Uruguai (INUMET). Os demais dados foram obtidos para a porção brasileira da bacia, através da rede hidrológica nacional, operada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

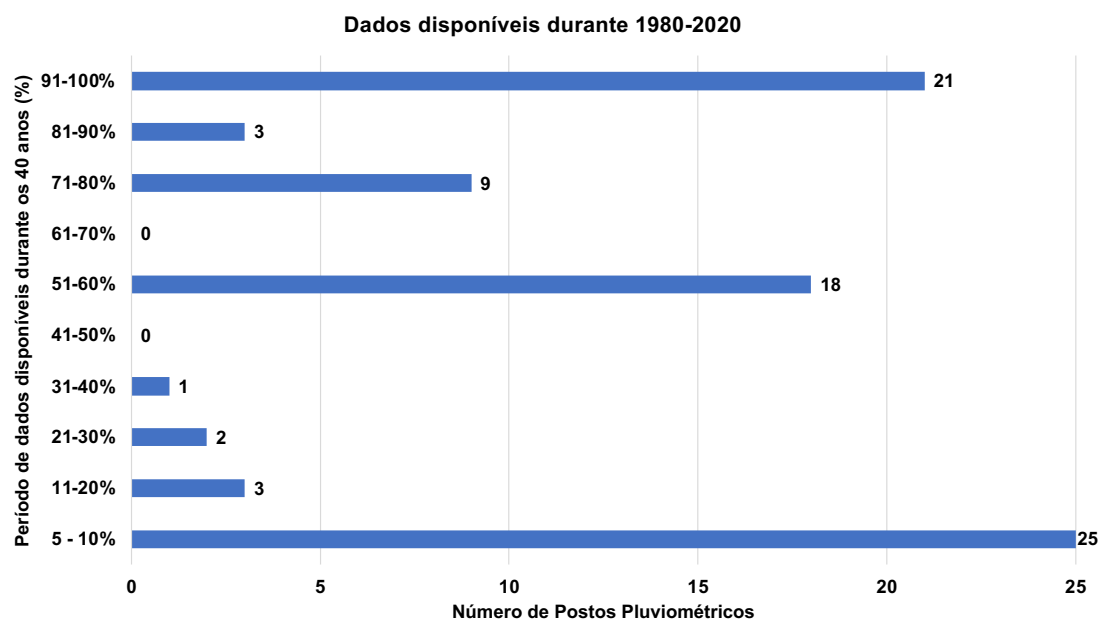


**Figura 8** - Localização dos Postos Meteorológicos, Pluviométricos e Fluviométricos utilizados para o presente estudo.

Fonte: Próprio Autor.

Referente as falhas dos dados utilizados, nos postos pluviométricos foram considerados 82 dos que apresentaram informações com, no mínimo, de 5% de período de dados entre o decorrer de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020, sendo que 21% dos postos utilizados apresentaram dados disponíveis entre 91-100% do tempo de estudo (Figura 9).



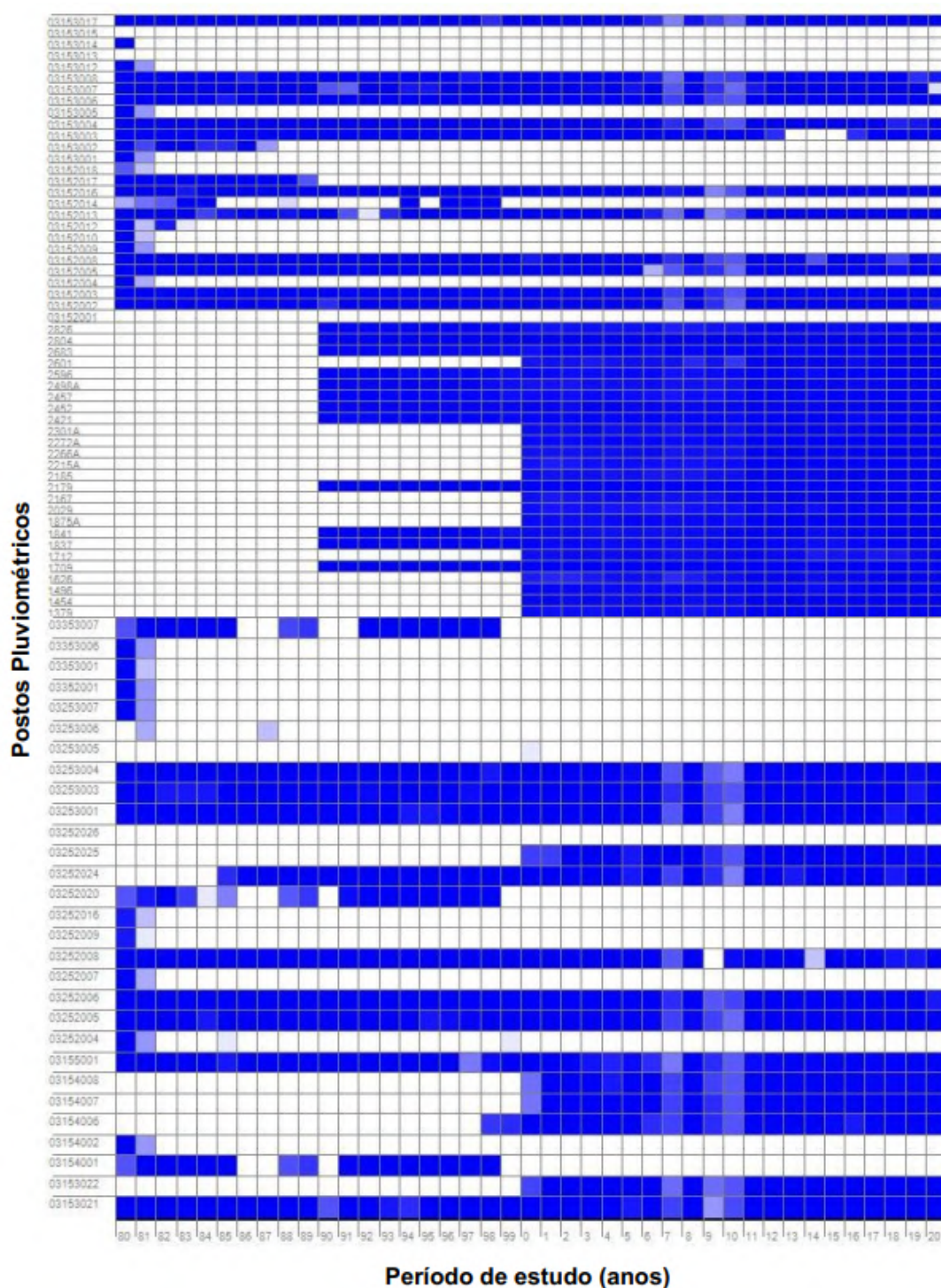


**Figura 9** - Dados observados disponíveis nos postos pluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020.

Fonte: Próprio autor.

A periodicidade disponível dos dados de pluviometria é apresentada através da Figura 10, gerada através do *software* Super Manejo dos Dados 2.0.5, onde, quanto mais forte o tom de azul maior é a disponibilidade de dados para o ano em questão, e em branco, representa o período sem dado disponível.



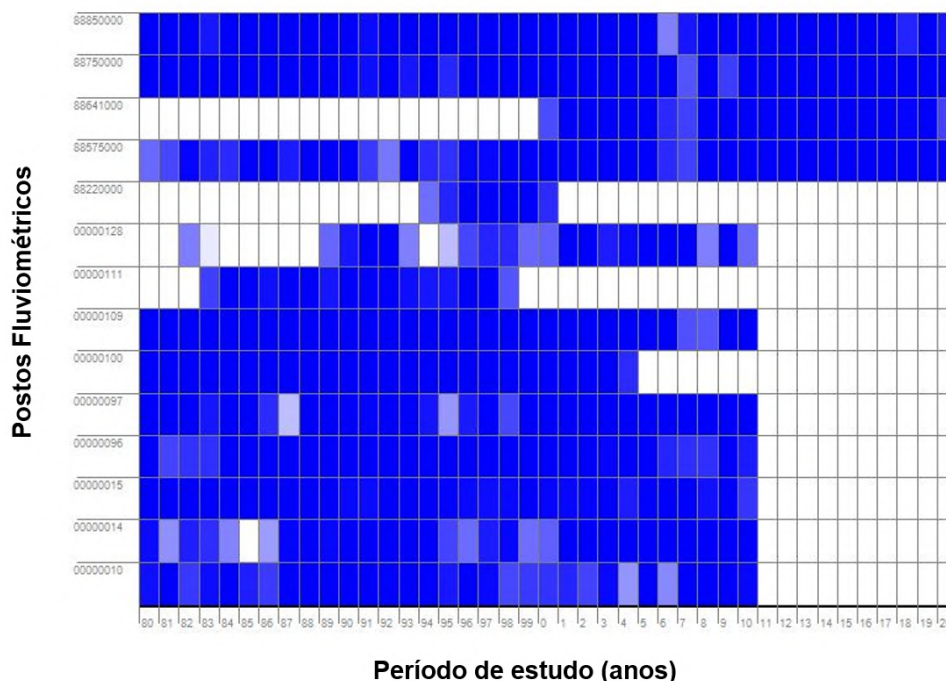


**Figura 10** - Dados observados nos postos pluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020. Em tom de azul dado disponível e em branco período sem dado disponível.

Fonte: Super Manejo dos Dados 2.0.5.

Foram considerados 15 postos fluviométricos e os dados, para o período, estão apresentados na Figura 11, gerado através do *software* Super Manejo dos Dados 2.0.5. Destaca-se que para o andamento no modelo MGB, os períodos

com falhas dos dados de entrada, foram inseridos o valor de -1,0, o qual o MGB reconhece como “período sem dado disponível”.



**Figura 11** - Dados observados nos postos fluviométricos durante o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2020. Em tons de azul dado disponível e em branco período sem dado disponível.

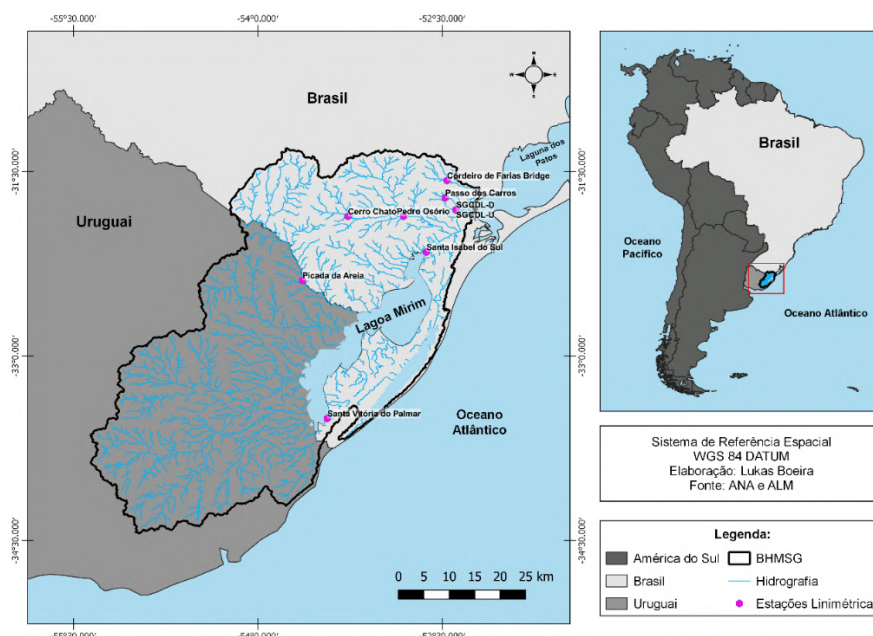
Fonte: Super Manejo dos Dados 2.0.5.

Os parâmetros fixos de simulação utilizados referem-se à vegetação, sendo valores associados a vegetação existente em cada URH da BHMSG. Tais parâmetros definidos para a realização da simulação são: albedo, índice de área foliar, altura da vegetação e resistência superficial em boas condições de umidade do solo (ALVES *et al.*, 2020). No estudo, foi adotado os valores apresentados por Possa *et al.* (2022), disponíveis no Anexo A.

Os parâmetros calibráveis de simulação, foram determinados em função das variáveis apresentadas nas URHs, onde alterou-se, através de tentativa e erro, até obter os melhores valores de calibração — Nash-Sutcliffe (NS), Nash-Sutcliffe do Logaritmo das vazões (NSLog) e Erro relativo de volume (EV) — apresentados pelo tópico de Calibração do Modelo 3.3.4.

Foram obtidos dados de níveis através de 9 estações linimétricas na BHMSG (Figura 12), sendo cinco delas obtidas pelo sistema Hidroweb (Cerro Chato, Passo dos Carros, Pedro Osório, Picada da Areia e Ponte Cordeiro de Farias) e as outras quatro estações obtidas junto a Agência para o

Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim – ALM (Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa – Montante, Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa Jusante, Santa Isabel e Santa Vitória do Palmar). Tais informações referentes aos seus respectivos códigos e localização são apresentadas na Tabela 2.



**Figura 12** - Localização das Estações Linimétricas utilizadas para o presente estudo.  
Fonte: Próprio autor.

**Tabela 2** - Estações fluviométricas com dados de nível utilizadas no estudo

Estação	Nome	Latitude (S)	Longitude (W)	Data	
				Início	Fim
88575000	Cerro Chato	31°51'52.92"	53°16'5.88"	01/01/1980	31/12/2020
88750000	Passo dos Carros	31°42'50.04"	52°28'36.12"	01/01/1980	31/12/2020
88641000	Pedro Osório	31°51'47.88"	52°48'57.96"	01/04/2000	31/12/2020
88220000	Picada da Areia	32° 23'8.00"	53°38'16.00"	01/01/1980	01/12/2000
88850000	Ponte Cordeiro de Farias	31°34'24.96"	52°27'45.00"	01/01/1980	31/12/2020
-	BCSGE*- Montante	31°48'46.80"	52°23'20.40"	01/01/1980	31/12/2020
-	BCSGE*- Jusante	31°48'39.60"	52°23'16.80"	01/01/1980	31/12/2020
88900000	Santa Isabel do Sul	32° 9'16.92"	52°37'48.00"	01/01/1980	07/03/2016
88040000	Santa Vitória do Palmar	33°30'30.96"	53° 26' 9.96"	01/01/1980	14/05/2013

\*Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa (BCSGE)

Fonte: ANA e ALM (2022).

Os dados de níveis de água obtidos pelas agências de monitoramento foram tratados para permitir comparações, com o intuito de que estejam no mesmo referencial que as informações geradas pelo modelo. Para isso, as estações com dados observados tiveram seus valores ajustados pela diferença

entre as médias observadas e as médias das simulações. Assim, ambas as séries ficaram referenciadas ao Datum EGM-96, utilizado no MDE do SRTM. A avaliação do modelo foi realizada através de métricas de desempenho NS, raiz do erro quadrático médio (RMSE) e coeficiente de correlação de Pearson (R) calculadas a partir dos níveis calibrados.

### **3.3.2 Modelo de Grandes Bacias (MGB) adaptado por Possa *et al.* (2022)**

O modelo MGB adaptado por Possa *et al.* (2022) considera além das informações utilizadas no modelo tradicional do MGB as condições de jusante, conexões laterais, influência da velocidade e direção do vento e coeficiente de atrito do vento. Com isso, para o presente estudo foram considerados:

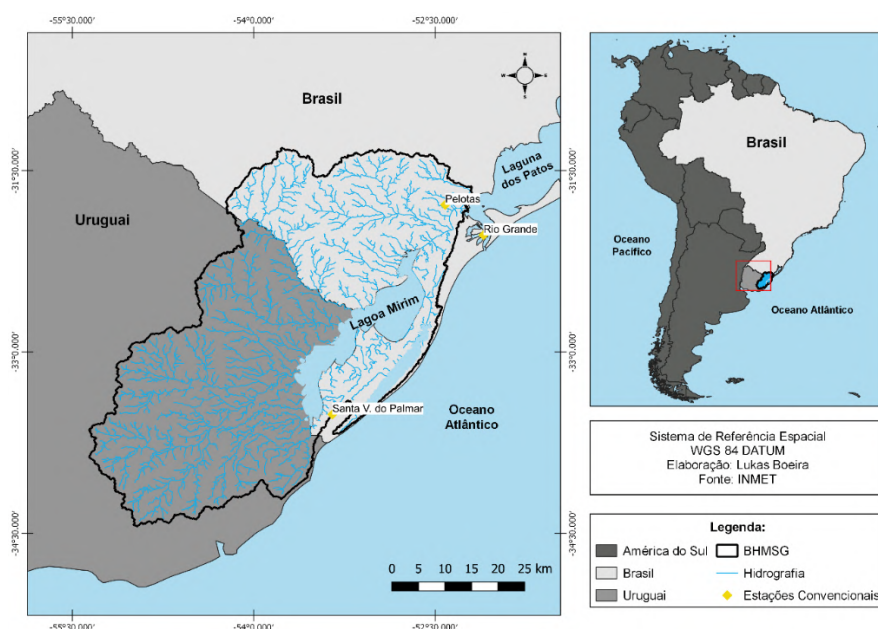
a) Condição de Jusante: para fortalecer o modelo, foi considerado os dados diários de nível d'água observados na Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa, como condição de jusante, sendo assim, calculada a declividade em relação aos próprios valores observados na Barragem, atentando-se de somar 20 m aos valores observados —visto que, o MDE original foi somado por este valor, de modo a compensar o escavamento da calha dentro da Lagoa Mirim.

b) Conexões laterais: como a BHMSG encontra-se em uma região de planície, faz-se necessário considerar as trocas de vazões laterais entre as minibacias dentro do MGB Inercial (método tradicional), a partir da incorporação de canais de ligação entre todas as minibacias adjacentes situadas na área de planícies e as conectando (PONTES *et al.*, 2015). Sendo assim, importante para tal consideração é o parâmetro  $b$ , que representa a largura dos trechos de rios fictícios entre as minibacias que possuem conexões laterais. Para tal, são utilizadas as soluções numéricas das equações de Saint-Venant (Equações 1 e 2) do modelo inercial local, o qual representa a propagação do escoamento superficial do modelo (BATES; HORRITTM; FERTRELL, 2010). No presente estudo foi utilizado como valor do parâmetro 100 m, visto que no modelo de Possa *et al.*, (2022), foi apresentado como o mais adequado para a região.

c) Dados sub-diários de vento: uma das principais alterações apresentadas no modelo de Possa *et al.* (2022) é a incorporação dos dados de vento sub-diários para a modelagem na BHMSG, visto que, a região sofre grande influência desta variável. No estudo, foi utilizada a variável vento, a qual, teve



sua primeira inclusão no modelo MGB com propagação inercial feita por Lopes (2017). Os dados utilizados foram de vento sub-diários obtidos das estações convencionais (Figura 13), através do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas na região da BHMSG.



**Figura 13** - Localização das Estações Convencionais com dados sub-diários de vento utilizados no estudo.

Fonte: Próprio autor.

A partir da Figura 13 foi possível verificar a existência de três estações convencionais com medições sub-diárias disponíveis, realizadas em três horários distintos (00h, 12h e 18h UTC), localizadas nos municípios de Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar, no estado do Rio Grande do Sul, para as quais, um resumo de suas principais características são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Dados sub-diários de vento utilizados no estudo.

Estação Convencional	Período		Velocidade do Vento ( $\text{m.s}^{-1}$ )			Dir. Vento ( $^{\circ}$ ) Moda
	Início	Fim	Mínima	Média	Máxima	
Pelotas	01/01/1980	31/12/2020	0,10	3,32	17,50	45
Rio Grande	01/01/1980	18/01/2015	0,10	3,04	21,00	45
Santa Vitória do Palmar	01/01/1980	31/12/2020	0,10	4,09	17,00	135

Fonte: INMET

Como é possível observar na Tabela 3, apenas uma estação com dados de vento utilizados no estudo não apresenta valores para todo período analisado

(1980 – 2020). Além disso, destaca-se que as três estações apresentam falhas ao longo dos anos. Para suprir tal problemática foi realizado o preenchimento das falhas de velocidade e direção do vento através de planilha digital, com o uso de regressão linear, e com dados horários anteriores e posteriores do mesmo dia da falha. Nos casos em que ocorressem falhas nos horários do mesmo dia, estes eram preenchidos com informações da estação mais próxima. Após o preenchimento das informações de forma horária, para todo período de estudo, foram interpolados utilizando o *software* Matlab em cada minibacia, através do método do vizinho mais próximo e a transformação dos arquivos de planilha digital para arquivos binários, a fim de utilizar na modelagem do MGB.

d) Coeficiente de atrito do vento: para o estudo, foi adotado um coeficiente de atrito do vento ( $C_d$ ) de  $2 \times 10^{-6}$ , sendo esse valor apresentado por Possa *et al.* (2022) como mais adequado, e com melhores métricas de desempenho quando simuladas as informações de vento sub-diário. Tal consideração da inclusão do  $C_d$  se mostrou benéfica em estudos como de Lopes *et al.* (2018), quando simulado o modelo MGB para representação dos níveis de água para bacia hidrográfica da Laguna dos Patos.

### 3.3.3 Processos da Etapa: MGB

Com posse dos dados de entrada para o modelo e o pré-processamento realizado pelo plugin IPH-Hydro Tools, obtiveram-se, então, os processos no MGB descritos abaixo:

a) Interpolação dos dados de precipitação: com os dados de precipitação obtidos, o modelo MGB realizou-se a interpolação pelo método inverso da distância ao quadrado a partir das coordenadas de cada um dos postos pluviométricos até as respectivas coordenadas dos centróides das minibacias (ALVES *et al.*, 2020). Esse processo, resulta em um arquivo necessário para criação do projeto utilizado na simulação do modelo. Em casos de falha durante algum período dos dados, o modelo considera com valor de -1,00, o qual interpreta como período sem dado. Destaca-se ainda que, caso todos os postos apresentassem falhas em um dia específico, não haveria possibilidade de incluí-lo no período simulado.

b) Obtenção do arquivo de vazões observadas: a obtenção de um arquivo com as informações de vazões observadas, que se enquadra no MGB, faz-se necessário, uma vez que, este servirá de comparação com as informações geradas pelo modelo e na calibração do mesmo, segundo Alves *et al.* (2020). Para isso, os dados de vazão utilizados no estudo devem ser organizados em um arquivo de texto referente a cada estação e exatamente no mesmo período de dados utilizados na interpolação da precipitação. Destaca-se nesse processo a necessidade de conferência da localização do posto fluviométrico com a respectiva minibacia, de acordo com a área de drenagem.

c) Estimativa da evapotranspiração: a estimativa pelo modelo se dá através do método de Penman-Monteith (SHUTTLEWORTH, 1993) e utiliza os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação.

### **3.3.4 Calibração do Modelo**

Realizados os processos descritos no tópico anterior, foi, então, gerada a série de dados pelo modelo e calibrado com o uso da propagação inercial, para o período de 01 de janeiro de 1980 até 31 de dezembro de 2020, totalizando 40 anos. A calibração, feita através de tentativa e erro nos parâmetros de Unidades de Respostas da Bacia (apresentados no tópico 3.2), foi realizada a partir da comparação entre hidrogramas que iam sendo ajustados com os observados, usando como métricas de desempenho Nash-Sutcliffe (NS), Nash-Sutcliffe do Logaritmo das vazões (NSLog) e Erro relativo de volume (EV).

Referente as métricas, o coeficiente NS é mais sensível para as altas vazões, variando do negativo infinito até 1, sendo este valor considerando o ajuste perfeito. Valores acima de 0,75 é considerado adequado, enquanto valores entre 0,36 e 0,74 é considerado aceitável (COLLISCHONN, 2001). Por sua vez, o NSLog, utiliza-se da mesma condição do NS, sendo que quanto mais próximo a 1 melhor é a situação de ajuste. Já tratando-se do EV, apresenta os melhores ajustes na quantidade de vazão gerado pelo modelo MGB em relação às vazões observadas ao longo do tempo, quando aproximado do valor 0 (SANTOS, 2022). Tais ordenações foram utilizadas em diversos estudos, como Possa *et al.* (2022), SANTOS (2022), Brito Neto *et al.* (2021) e Oliveira (2014),

sendo a classificação dos resultados dos coeficientes citados acima apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Classificação dos índices de desempenho aplicados no estudo.

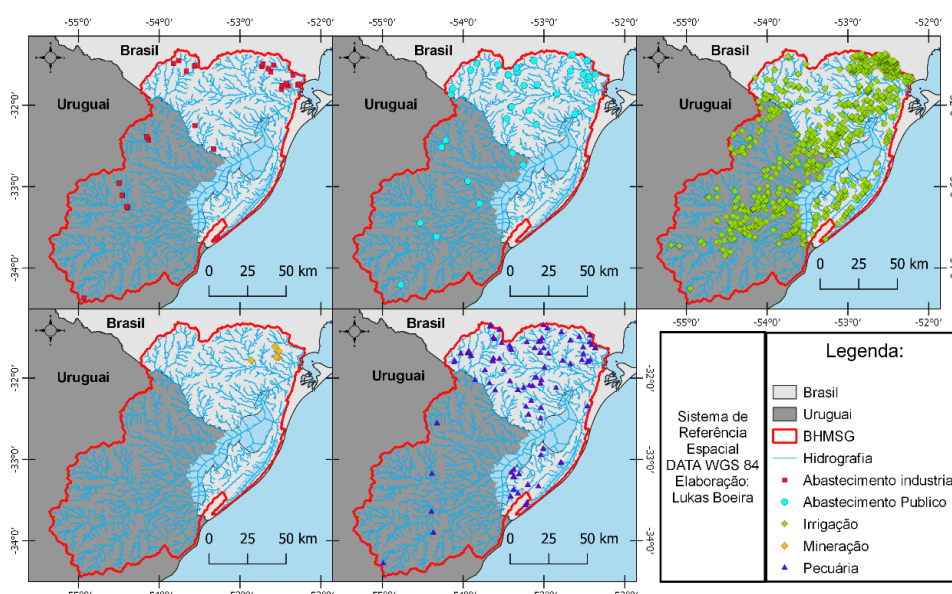
Classificação	NS e NSLog	EV (%)
Muito Bom	$0,75 < NS \text{ e } NSLog \leq 1,00$	$EV (\%) < \pm 10$
Bom	$0,65 < NS \text{ e } NSLog \leq 0,75$	$\pm 10 \leq EV (\%) < \pm 15$
Satisfatório	$0,50 < NS \text{ e } NSLog \leq 0,65$	$\pm 15 \leq EV (\%) < \pm 25$
Insatisfatório	$NS \text{ e } NSLog \leq 0,50$	$EV (\%) \geq \pm 25$

Fonte: Brito Neto et al. (2021) apud. Oliveira (2014).

### 3.4 Usos Múltiplos

As informações das retiradas de água dos mananciais hídricos que compõem a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo foram obtidas através do Sistema de Outorgas de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT, 2021), para a porção brasileira da bacia, e pela *Dirección Nacional de Aguas* (DINAGUA, 2019), para a porção uruguaia.

Em seguida, foi analisada cada outorga a fim de eliminar informações duplicadas e suas respectivas coordenadas geográficas, no intuito de verificar se encontravam em locais possíveis de extração de água. Os dados obtidos consistem nas vazões outorgadas para captação da água para uso em diversas finalidades, como abastecimento urbano, industrial, irrigação, mineração e pecuária, sendo apresentados espacialmente na Figura 14.



**Figura 14** - Localização dos pontos outorgados para os usos da água com finalidade de abastecimento industrial, público, irrigação, mineração e pecuária na BHMSG.

Fonte: Próprio autor.



As vazões obtidas estão relacionadas à demanda em si, porém deve-se considerar o fator de retorno das águas após a retirada, levando em conta os padrões de consumo de cada finalidade. Essa relação entre a retirada e o consumo são proporcionais aos coeficientes de retorno para cada tipo de uso, obtidos através da literatura. Para isso, as vazões de retirada obtidas foram multiplicadas pelo coeficiente de retorno apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Coeficientes de retorno referentes aos usos da água

Uso da água	Coeficiente de Retorno
Abastecimento Urbano*	0,80
Indústria*	0,80
Irrigação**	0,20
Mineração***	0,75
Pecuária*	0,20

Fonte: \*Nota Técnica nº 56/2015/SPR\_ANA (ANA, 2015); \*\* SRHU & FUNARBE. Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil. Relatório Técnico, 2011 (BRASIL, 2011); \*\*\* Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil: ANA (BRASIL, 2019). Adaptação: DRHS (2020).

Após a consideração do coeficiente de retorno, foram analisados os usos da água (volumes captados) para cada sub-bacia de estudo, verificando os volumes calibrados — através do arquivo gerado Qmes90.txt e Resumo SIAQUA.txt — e os volumes captados regularizados pelos órgãos gestores do Brasil e do Uruguai. Com isso, foram utilizados dois indicadores de escassez de grande relevância em estudos de gestão do uso da água, com o intuito de diagnosticar os níveis de escassez na BHMSG, considerando o seu comprometimento hídrico anual (SEMA, 2020).

### 3.4.1 Índice de Comprometimento Hídrico (ICH)

Um dos índices de destaque, quando este aborda estudos a respeito de uso e captação da água é o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH). Tem como função nortear limites sócio-políticos apresentando as regiões que apontam uma atenção especial quando se trata da gestão às demandas hídricas, sendo a relação entre os consumos — volume de água captada para os usos múltiplos — e a vazão de referência Estadual (SEMA, 2020), apresentada na Equação 5.

$$ICH = \frac{Q}{Q_{90}} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

ICH é o Índice de Comprometimento Hídrico, em %;

Q é o volume de água captado para os usos múltiplos da água, em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>;

Q<sub>90</sub> é o volume de referência, em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

No presente estudo, utilizou-se a vazão de referência Q<sub>90</sub>, que se refere a vazão que norteia as outorgas de direito de usos da água na BHMSG, respeitando o Artigo 12 do PERH-RS (2014). Onde, em situações que a soma das vazões de retirada da água superar 50% da respectiva vazão de referência (Q<sub>90</sub>), ela será considerada especial. Para isso, foram utilizadas as vazões obtidas através da modelagem realizada, oriundas da calibração para os 40 anos de estudo, apresentadas pelo arquivo gerado pelo MGB (Qmes90.txt), onde a vazão é dada para cada minibacia correspondente ao exutório das sub-bacias (Apêndice B).

### 3.4.2 Índice de Retirada de Água (IRA)

Outro índice de grande utilidade em estudos de balanço hídrico e utilizado como ferramenta de gestão é o Índice de Retirada de Água (IRA). Oriundo da língua inglesa “*Water Exploitation Index – WEI*”, tem destaque na União Europeia, que utiliza como ferramenta de gestão de suas águas através da relação entre a vazão consumida total e a vazão média anual (Equação 6). Para esse estudo, a vazão consumida total foi obtida através dos dados cadastrados pelos usuários nos órgãos regulamentadores (SIOUT e DINAGUA) e a vazão média anual através da modelagem realizada, disponibilizada pelo arquivo RESUMO SIAQUA.txt, para cada minibacia onde se encontra o exutório das sub-bacias do estudo (Apêndice C).

$$IRA = \frac{Q}{Q_M} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

IRA é o Índice de Retirada da Água, em %;

Q é o volume de água captado para os usos múltiplos da água, em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>;

$Q_M$  é o volume médio anual do manancial, em  $m^3.s^{-1}$ .

Tal índice, possibilita determinar a situação de escassez de água através da classificação apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6** - Classificação do Índice de Retirada de Água – IRA.

Classificação	Situação
0% a 5%	Excelente, onde pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária e, portanto, a água é considerada um bem livre;
5% a 10%	Confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimentos prioritários;
10% a 20%	Preocupante e a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;
20% a 40%	Crítica exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos;
>40%	Muito crítica.

Fonte: SEMA (2020), adaptado por SANTOS (2022).

### 3.5 Análise da influência do Fenômeno Climático ENOS

Os períodos de ocorrência dos fenômenos de El Niño, La Niña e anos Neutros foram obtidos através do *National Weather Service* (NWS), conforme o índice ONI da NOAA, compreendendo o mesmo período de estudo, de janeiro de 1980 a dezembro de 2020. Os períodos de El Niño são identificados com valores acima de 0,5 (cor vermelha), os períodos de La Niña com valores abaixo de -0,5 (cor azul) e períodos Neutros com valores variando entre -0,4 a 0,4 (cor preta). O NWS disponibiliza os valores trimestrais da TSM, sendo apresentados no Anexo B. No estudo, foi necessária a troca dos períodos trimestrais para mensais, através de análise combinatória, a qual consistiu em classificar o mês do ano em questão conforme o ENOS de maior ocorrência entre os três meses apresentados (Tabela 7).

**Tabela 7** - Classificação dos meses quanto a presença de El Niño, La Niña e neutralidade climática, de acordo com os valores de TSM.

Ano	Período de Regência do ENOS											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1980	El Niño	El Niño	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1981	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1982	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1983	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1984	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1985	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1986	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1987	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1988	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1989	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1990	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1991	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1992	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1993	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1994	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1995	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1996	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
1997	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
1998	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
1999	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2000	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2001	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2002	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2003	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2004	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2005	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2006	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2007	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2008	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2009	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2010	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2011	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2012	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2013	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
2014	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
2015	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2016	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2017	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade	Neutralidade
2018	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña	La Niña
2019	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño
2020	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño	El Niño

■ = El Niño; ■ = La Niña; ■ = neutralidade climática.

Fonte: NOAA (2021).

Os valores de vazões calibrados na BHMSG para os 40 anos de estudo foram obtidos para cada dia do ano por arquivos gerados pelo modelo MGB, e os valores de nível calibrados foram apresentados pelo modelo para cada um dos 14 postos fluviométricos utilizados. A partir desses dados, foi realizado o tratamento dos mesmos, calculando a média mensal para cada mês do ano e a

separação entre meses regidos pelo El Niño (período em vermelho na Tabela 7), La Niña (período em azul) e neutralidade Climática (período em cinza).

A análise estatística foi realizada para os principais mananciais da BHMSG com dados disponíveis e calibrados com as melhores métricas de desempenho, localizadas no Rio Cebollatí (sub-bacia 14), Rio Jaguarão (sub-bacia 7), Rio Piratini (sub-bacia 5) e Rio Tacuarí (sub-bacia 8). Sendo primeiramente, realizada a análise de normalidade, a fim de comprovar se os dados apresentam ou não uma distribuição normal, através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) com intervalo de confiabilidade de 95% e nível de significância de 0,05. Por fim, com intuito de verificar a existência de variabilidade significativa entre os dados de vazão sob influência dos períodos de regência de El Niño e La Niña, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 0,05, teste esse que não exige normalidade dos dados.

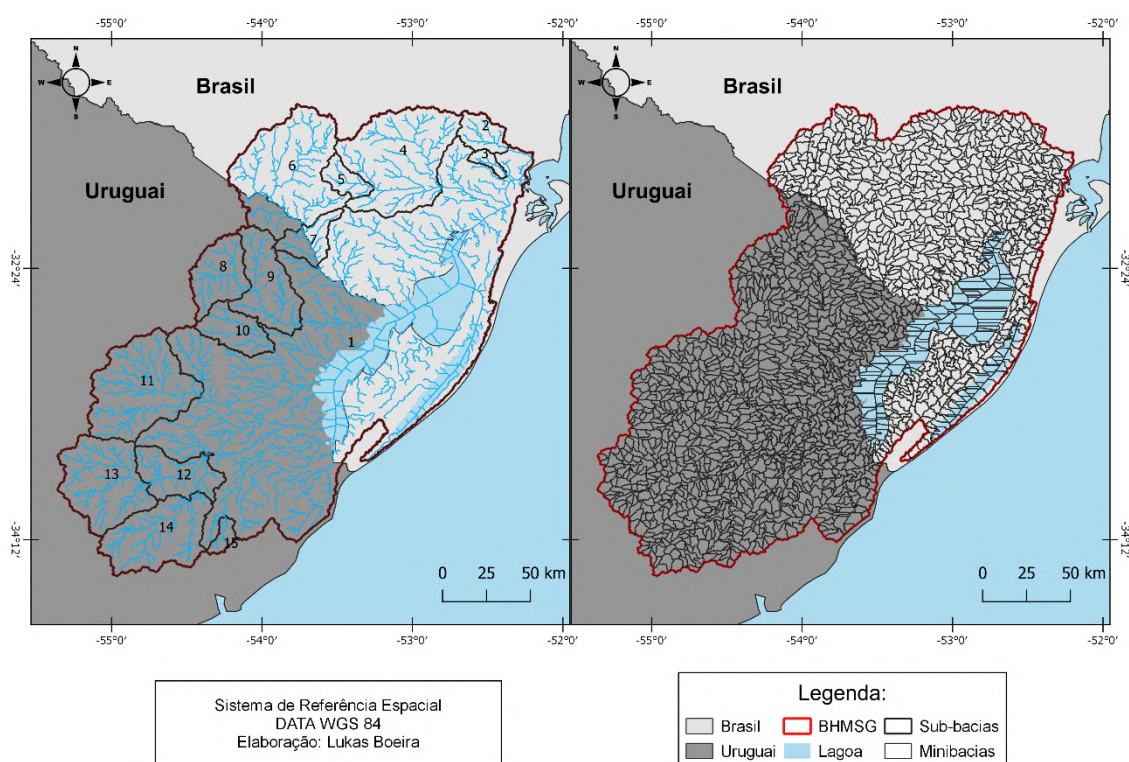
A escolha de tais testes se ocorreu em razão da vasta utilização dos mesmos em estudos semelhantes, como por exemplo, de Baú, Azevedo e Bresolin (2013), que avaliaram a construção de modelos probabilísticos de precipitação pluvial diária considerando a ocorrência dos fenômenos ENOS. Além do estudo de Raicoski e Kist (2018) que analisaram a influência do ENOS nas variáveis climáticas precipitação, umidade relativa do ar e temperatura máxima e mínima do ar, a partir dos mesmos testes estatísticos.

Por sua vez, os valores de níveis foram analisados de três pontos chaves da bacia, sendo estes calibrados para Santa Vitória do Palmar (extremo sul da Lagoa Mirim), Santa Isabel do Sul (extremo norte da Lagoa Mirim, conectando ao Canal São Gonçalo) e Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa - Jusante (Canal São Gonçalo). Tais locais foram escolhidos, devido a utilização dos órgãos regulamentadores de outorgas do Brasil que usam a diferença de nível entre Santa Vitória do Palmar e Santa Isabel do Sul como marco de limite para captação de água da Lagoa Mirim, quando a média entre esses dois pontos estiver abaixo de 0,50 m impossibilita tal captação. A análise estatística utilizada foi a mesma para a variável vazão.

## 4. Resultados e Discussões

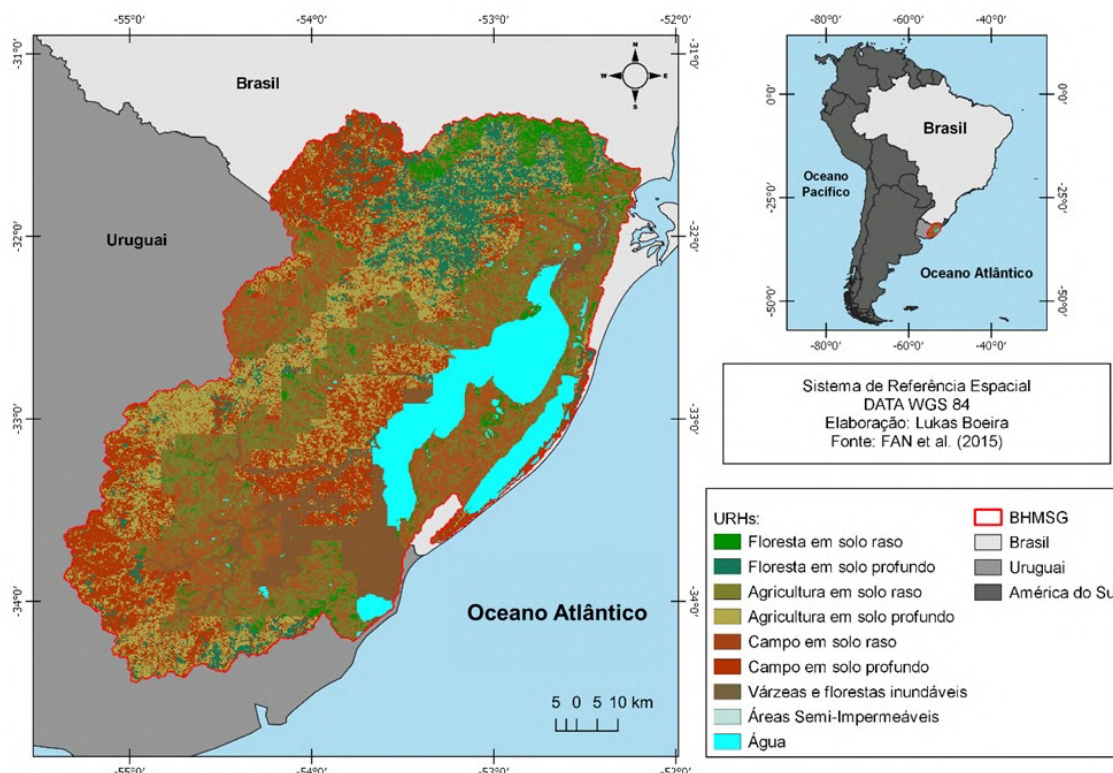
### 4.1 Pré-Processamento

A partir do uso da ferramenta IPH-Hydro Tools, foi realizada a delimitação da BHMSG, respeitando as considerações hidrológicas do modelo por ser uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída (JARDIM *et al.*, 2017), gerando assim a bacia com uma área de 58.613,01 km<sup>2</sup>, com o total de 15 sub-bacias, seguindo como base a localização das estações fluviométricas dispostas na área de estudo, as quais foram empregadas para inserção de dados no processo de calibração da modelagem hidrológica. O processo de discretização gerou 1777 mini-bacias (Figura 15).



**Figura 15** – Discretização das sub-bacias e minibacias utilizadas na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo.  
Fonte: Próprio autor.

As URHs para a BHMSG determinadas a partir do mapa de Unidades de Resposta Hidrológica da América do Sul (FAN et al., 2015), são apresentadas pela Figura 16 e suas respectivas áreas e porcentagens na Tabela 8.



**Figura 16** - Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs) para a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, obtidos a partir do Mapa de URHs da América do Sul (FAN et al., 2015).  
Fonte: Próprio autor.

**Tabela 8** - URHs e suas respectivas áreas e porcentagens na BHMSG, obtidos a partir do Mapa de URHs da América do Sul (FAN et al., 2015).

URHs	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem (%)
Floresta em solo raso	2148,28	3,67
Floresta em solo profundo	4657,80	7,95
Agricultura em solo raso	9031,93	15,41
Agricultura em solo profundo	9841,41	16,79
Campo em solo raso	10687,84	18,23
Campo em solo profundo	12033,14	20,53
Várzeas e florestas inundáveis	4361,81	7,44
Áreas Semi-Impermeáveis	0,29	0,0005
Água	5850,51	9,98
<b>Total</b>	<b>58613,01</b>	<b>100</b>

Como observado na Figura 16 e na Tabela 8, o destaque da BHMSG é para *campo em solo profundo* (20,53% da área total da bacia), seguido por *campo em solo raso* (18,23%), *agricultura em solo profundo* (16,79%) e *agricultura em solo raso* (15,41%). Situações como a de *campo em solo profundo* e *campo em solo raso* serem como destaque para a região, o que já era

esperado, uma vez que este tipo de solo é adequado à atividade econômica, tal como a pecuária, a qual trata-se da principal atividade, com ênfase na porção da BHMSG localizada no Uruguai (OPPLERT *et al.*, 2020). Ressaltam-se, também, as URHs de *agricultura em solo profundo* e *agricultura em solo raso*, algo também esperado, visto que, a região da BHMSG tem como principal atividade econômica a orizicultura (BOEIRA *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Já Santos (2022) em seu estudo, analisou o balanço hídrico qualitativo na sub-bacia do Rio Jaguarão (correspondendo a sub-bacia 6, 7 e parte da 1 do presente estudo) evidenciou os mesmos resultados quanto as URHs da região.

## 4.2 Modelagem Hidrológica-Hidrodinâmica

Com os arquivos obtidos pelo pré-processamento, foi realizada a modelagem hidrológica-hidrodinâmica pelo MGB tradicional, seguindo com a modelagem pelo modelo adaptado por Possa *et al.* (2022) para o período de 1980-2020. A modelagem adaptada partiu da inserção das condições de jusante nas rotinas do MGB, conexões laterais, dados sub-diários do vento e a consideração do coeficiente de atrito do vento. As vazões diárias simuladas para os 40 anos, foram comparadas e calibradas a partir das vazões observadas nos postos fluviométricos e seus resultados avaliados a partir das métricas de desempenho NS, NSLog e Erro de Volume (EV), apresentados pela Tabela 9.

**Tabela 9** - Estações fluviométricas e suas métricas de desempenho para variável vazão

Código	Estação	Manancial	NS	NSLog	EV (%)
88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	0,531	0,527	14,374
88750000	Passo dos Carros	Arroio Fragata	0,506	0,528	1,936
88575000	Cerro Chato	Arroio Basílio	0,513	0,346	-34,519
88641000	Pedro Osório	Rio Piratini	0,519	0,673	-3,411
00000100	Paso Centurión	Rio Jaguarão	0,257	0,616	-18,695
88220000	Picada da Areia	Rio Jaguarão	0,423	0,583	-28,742
00000096	Paso Borches	Rio Tacuarí	0,373	0,405	-8,837
00000097	Paso Dragón	Rio Tacuarí	0,391	0,181	-8,321
00000109	Vergara	Arroyo Parao	0,059	0,616	-37,903
00000010	Puerta Ruta 8 (Vieja)	Rio Olimar Grande	0,167	0,362	-21,831
00000014	Picada de Corbo	Rio Cebollatí	0,096	0,296	-7,574
00000128	Paso del Avestruz	Arroyo Del Aguá	0,050	0,015	-34,950
00000015	Paso Averías	Rio Cebollatí	0,111	0,298	-14,706
00000111	India Muerta – Puente R.13	Arroyo India Muerta	0,127	0,221	-51,917

NS: Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe; NSLog: Coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões; EV: Erro de volume (%). Estatística calculada com base nos valores absolutos.

Na Tabela 9, os valores de desempenho das métricas ao longo de toda BHMSG oscilaram entre as faixas de classificação apresentadas por Brito Neto

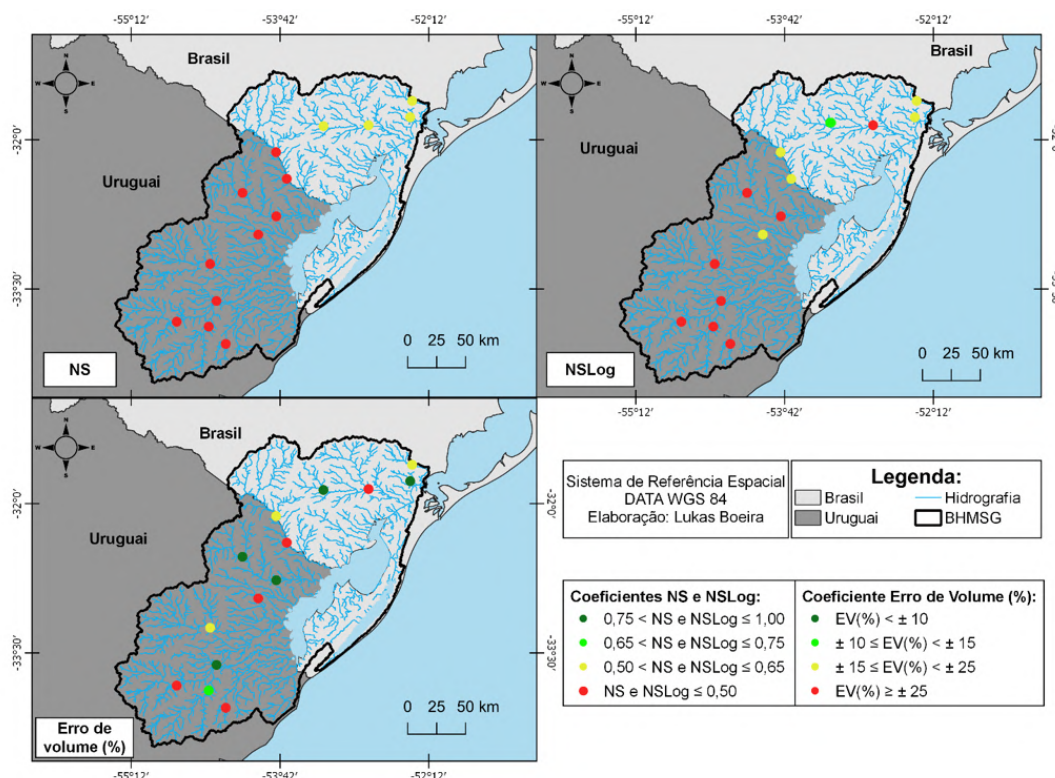


*et al.* (2021) e Oliveira (2014), onde as estações Ponte Cordeiro de Farias (sub-bacia 2), Passo dos Carros (sub-bacia 3) e Cerro Chato (sub-bacia 4) demonstraram valores de NS “Satisfatório”. No entanto, os melhores resultados da modelagem, ao tratar do NSLog, ocorreram na estação Pedro Osório (sub-bacia 5) classificada como “Bom”, seguido das estações Ponte Cordeiro de Farias, Passo dos Carros, Paso Centurión (sub-bacia 6), Picada da Areia (sub-bacia 7) e Vergara (sub-bacia 10) com NSLog “Satisfatório”. Em relação ao Erro de Volume, as estações Passo dos Carros, Pedro Osório, Paso Borches (sub-bacia 8), Paso Dragón (sub-bacia 9) e Picada de Corbo (sub-bacia 12) encontraram-se na melhor classificação “Muito bom”.

Em estudos semelhantes com o uso do MGB para a mesma região, como de Possa *et. al.* (2022) para toda BHMSG, Santos (2022) para área do Rio Jaguarão (sub-bacias 6 e 7) e Lopes (2017) para o complexo Lagunar Patos – Mirim — o qual compreendeu a BHMSG—, obtiveram métricas semelhantes. Sendo que Possa *et. al.*, (2022) apresentou valores de NS na mesma classificação para quase toda porção brasileira da BHMSG, com exceção da estação Cerro Chato e Ponte Cordeiro de Farias, onde apresentaram NS e NSLog inferiores, respectivamente.

Santos (2022) obteve como resultado NS “Satisfatório” para ambas as estações do Rio Jaguarão, NSLog “Satisfatório” para estação Picada da Areia e “Bom” para Paso Centurión, e erro de volume “Insatisfatório” para Picada da Areia e *Satisfatório* para Paso Centurión, em seu estudo, que modelou para o período de 1980 até 2010. Já Lopes (2017) em sua modelagem obteve valores, em quase sua maioria classificado na faixa de NS e NSLog “Insatisfatório” para as estações da porção uruguaia e “Bom” para porção brasileira.

A Figura 17 destaca de forma visual, a porção brasileira da bacia que também apresentou os melhores resultados da modelagem, quando comparadas com a porção uruguaia. Tratando-se dessa porção uruguaia da bacia, o modelo mostrou-se relativamente difícil, havendo locais com baixo ajuste entre os dados observados e os calibrados. Tal situação, pode ter ocorrido devido à falta de dados das estações pluviométricas na parte uruguaia da bacia durante o no período de estudos, como já destacaram Possa *et. al.* (2022) e Lopes (2017).

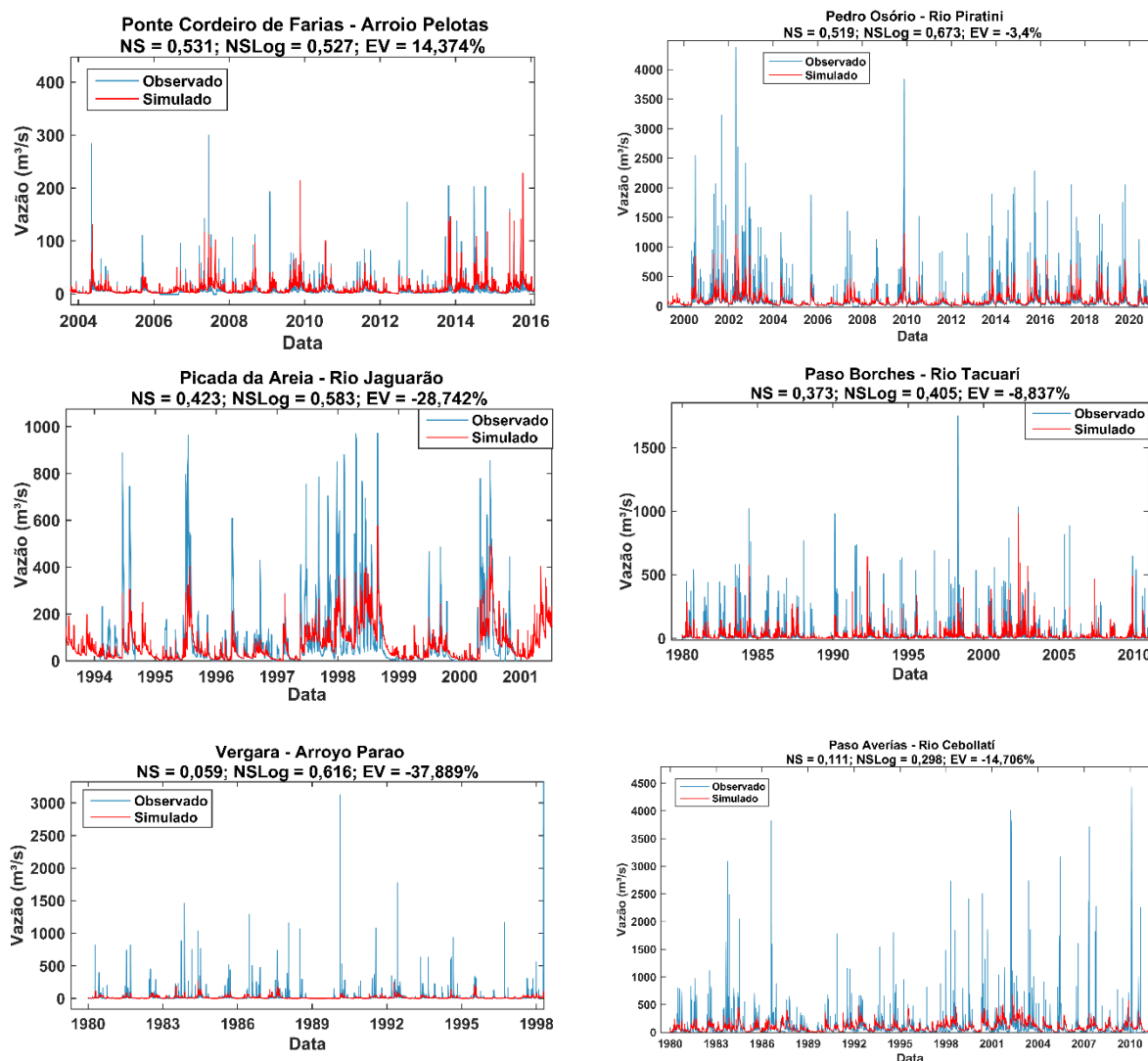


**Figura 17** – Valores das métricas de desempenho (A) NS, (B) NSLog e (C) Erro de Volume ( $\Delta V$ ) obtidos para o período de estudo (1980-2020).  
Fonte: Próprio autor.

Verificando os valores médios de NS para toda bacia, pode-se averiguar que a modelagem apresentou um desempenho 0,29 (Insatisfatório) na representação das vazões de pico, sendo que, considerando apenas as sub-bacias localizadas na porção brasileira da BHMSG, encontrou-se um desempenho 0,50 (Satisfatório) e de 0,18 (Insatisfatório) para a porção uruguaia. Já quando observamos os valores médios de NSLog obtidos, que indica ajustes quanto às vazões mínimas, os resultados mostram que para a porção brasileira o modelo teve um desempenho 0,53 (Satisfatório) e para porção uruguaia 0,33 (Insatisfatório). Em suma, o erro percentual de volume médio em grande parte da bacia apresentou valores negativos, indicando que o modelo está subestimando a vazão observada. Munar *et al.* (2018) em seu estudo, que tratou da modelagem hidrológica-hidrodinâmica da Lagoa Mirim para um período de 11 anos (2000 - 2010), obtiveram uma condição similar, tanto para o lado brasileiro da lagoa quanto ao lado uruguaio. Os autores inferem que tal situação sobre o fato da precisão na modelagem para o lado Uruguai ser inferior, quando comparada a porção brasileira, ocorre devido ao menor número de informações — dados pluviométricos no lado uruguaio — sendo necessário que o modelo

realize a interpolação dos dados através de pluviômetros mais distantes, localizados no lado brasileiro.

Após o modelo ser calibrado, foi possível realizar a análise dos hidrogramas gerados (Figura 18).



**Figura 18** - Hidrogramas com dados observados (azul) e calibrados (vermelho) para o período de estudo (1980-2020) nas estações localizadas nos principais afluentes da BHMSG.  
Fonte: Próprio autor.

A partir dos hidrogramas gerados para os principais mananciais da BHMSG, foi possível verificar que para o período apresentado o modelo tende a subestimar as vazões na maioria dos postos, não resultando uma calibração fiel aos valores de vazões de máxima, já apresentado através dos valores de NS insatisfatório obtido principalmente na porção uruguaia da bacia. Isso é possível

de verificar através das vazões observadas (reais) na cor azul dos hidrogramas, grande parte delas estão com valores acima dos calibrados.

A vazão máxima atingida pela simulação para a estação localizada no Arroio Pelotas foi de  $465,83 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , enquanto a maior vazão observada nela foi de  $1.074,51 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  para um único caso, no ano de 2017, e nos demais anos analisados não passou de  $489,45 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Já na estação presente no Rio Piratini, a vazão de pico calibrada foi de  $1.886,24 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e nos dados observados não apresentou vazões acima de  $4.383,06 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Enquanto, para a estação no Rio Jaguarão, a vazão de pico calibrada foi de  $1.025,31 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo a maior vazão observada de  $974,00 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Referente à modelagem na porção uruguaia, a estação localizada no Rio Tacuarí apresentou uma vazão calibrada máxima de  $979.63 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , sendo que foram observadas vazões de  $1.751,42 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Para a estação do Arroyo Parao obteve-se uma vazão de pico calibrado de  $384,41 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e observado de  $11.830,83 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  para um único caso, os demais picos oscilaram entre  $3.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Já no Rio Cebollatí foram encontradas vazões de pico calibrado de  $682,82 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  onde as observadas foram próximas a  $4.440 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ .

Lopes (2017), Munar *et al.* (2018) e Possa *et al.* (2022) depararam-se com a mesma situação, conferindo dificuldade do modelo em representar a bacia para a porção uruguaia, os quais justificam possivelmente por conta da baixa disponibilidade dos dados de entrada no modelo. Já sobre as vazões mínimas, o modelo apresentou situação semelhante às de máxima, sendo *satisfatório* para o lado brasileiro e *insatisfatório* para o lado uruguaio, algo perceptível pelos hidrogramas em destaque.

Na análise dos níveis na BHMSG, um ponto importante a referir é sobre o tratamento dos dados observados para que estivesse no mesmo referencial que os gerados pelo modelo (Datum Vertical EGM96). A Tabela 10 apresenta as médias de níveis observados, calibrados e a diferença entre elas, que seria então a diferença do zero das réguas de medição em relação ao nível do mar.

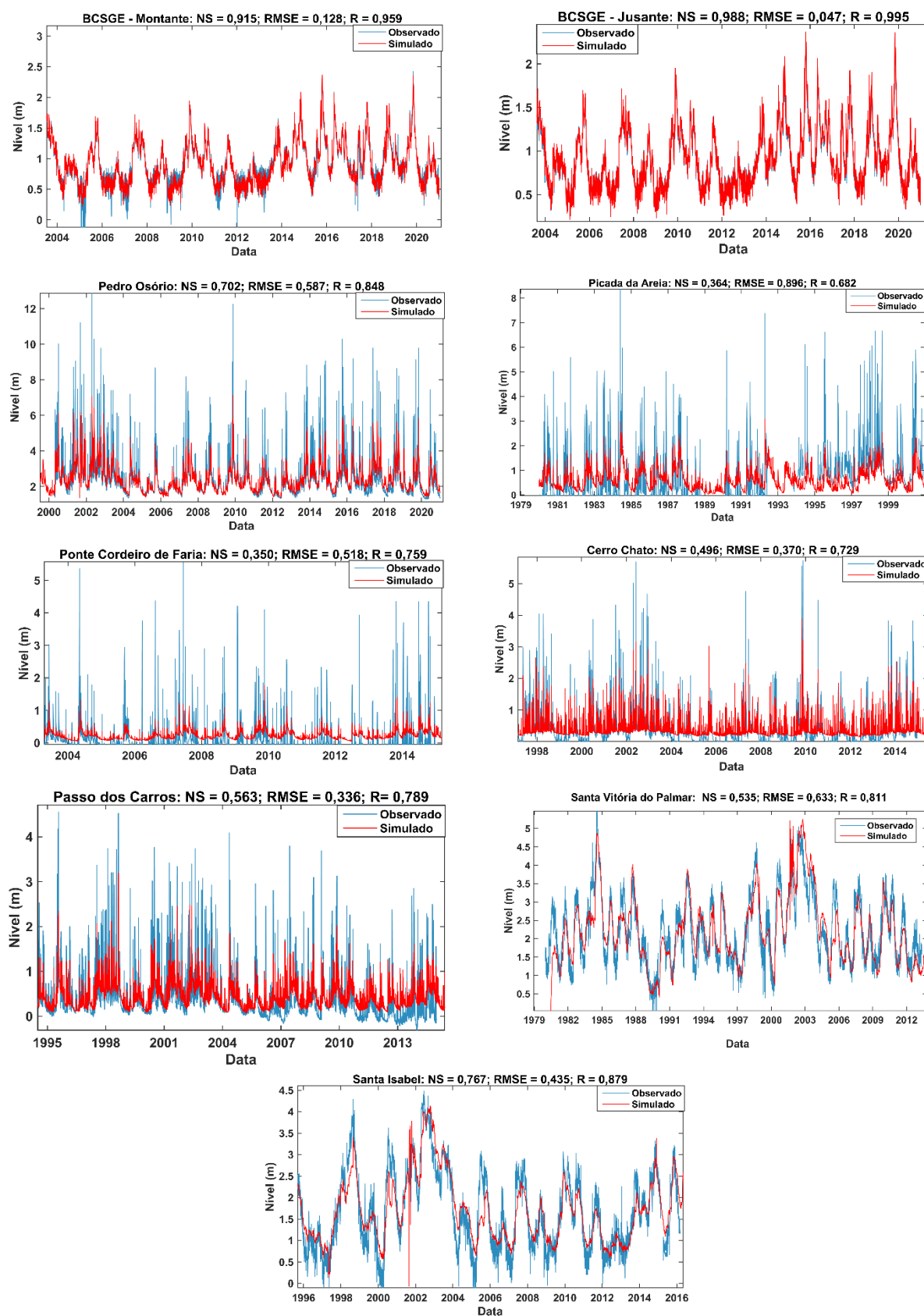
**Tabela 10** - Médias dos níveis observados, calibrados e diferença entre elas.

<b>Estação</b>	<b>Nível médio observado (m)</b>	<b>Nível médio calibrado (m)</b>	<b>Diferença (m)</b>
Cerro Chato	0,763	0,369	0,394
Passo dos Carros	1,344	0,405	0,940
Pedro Osório	2,814	2,423	0,391
Picada da Areia	1,814	0,634	1,180
Ponte Cordeiro de Farias	0,915	0,265	0,650
BCSGE*- Montante	1,052	0,956	0,096
BCSGE*- Jusante	0,936	0,956	-0,019
Santa Isabel do Sul	1,740	1,645	0,095
Santa Vitória do Palmar	1,914	2,250	-0,336

\*Barragem do Canal São Gonçalo e sua Eclusa (BCSGE)

Observa-se na Tabela 10, que após a obtenção dos dados de níveis calibrados, foram atingidos os valores médios gerados pelo modelo para os 40 anos de estudo e resultando a sua média. Assim como realizado para os dados obtidos pelos órgãos de monitoramento, tratando essas informações a partir da diferença entre os dados observados. Os níveis médios calibrados oscilaram entre 2,25 m para o ponto do Porto de Santa Vitória do Palmar e 0,763 m para a estação de Cerro Chato. A diferença encontrada também é algo debatido em estudo como de Piña, Landro e Turban (2002) que avaliaram o histórico de evolução do Datum Vertical e Modelos Geoidais no Uruguai (região onde se encontra a BHMSG), aonde foram encontrados desvios de referências de mais de 0,5 m em relação aos países vizinhos, como o caso do Brasil. Tal situação, segundo os autores se dá por conta de problemas atrelados às réguas, onde não apresentam um Datum Vertical padrão.

Com os dados de níveis tratados, foram realizados os cotagramas entre os dados observados e calibrados pelo modelo (Figura 19).



**Figura 19-** Cotagramas diários observados e calibrados.  
 Fonte: Próprio autor.

Como analisado, o modelo apresentou uma calibração com boas métricas para os dados simulados referentes aos níveis os pontos observados, destacando-se a estação da Barragem do Canal São Gonçalo — tanto montante quanto jusante —, que apresentaram métricas de desempenho NS acima de 0,91 (classificada como “Muito Bom”), RMSE abaixo de 0,13 e R muito próximo a 1, indicando uma “forte correlação”. Em seguida, as estações de Santa Isabel do Sul e Pedro Osório apresentaram NS na faixa classificatória “Bom”, RMSE indicando uma “Boa” precisão das estimativas com relação aos dados observados e R acima de 0,8, estando muito próximo de uma “forte correlação”. Dentre as estações analisadas, a que menos se sobressaiu foi a da Picada da Areia, na divisa entre o Brasil e Uruguai, com métricas de desempenho NS 0,364 (Insatisfatório), RMSE próximo de 0,9 e R próximo a 0,7, sendo possível tais resultados devido à falta de informações pluviométricas para entrada ao modelo na região próxima da estação (Uruguai).

Autores como Munar *et al.* (2018) obtiveram resultados de nível de água para a Lagoa Mirim, a partir do modelo MGB, bem representados. Para a estação de Santa Isabel do Sul foram verificadas métricas de desempenho de ENS = 0,91; RMSE = 0,321 m e BIAS = - 0,32 m. Os autores ressaltam que por conta de a Lagoa Mirim possuir uma grande área superficial e profundidade rasa (média de 4,5 m), um dos grandes influenciadores no comportamento dinâmico da variação do nível da água são os ventos, situação que ocorre também em mananciais próximos como a Laguna dos Patos, evidenciados por Fernandes *et al.* (2002, 2005), e na Lagoa Mangueira (FRAGOSO *et al.*, 2011). De acordo com Munar *et al.* (2018), tal influência ocorre por conta do estresse que o vento produz. O vento sul promove movimentação para o norte, elevando os níveis de água da estação de Santa Isabel e, por sua vez, os ventos da direção norte aumentam os níveis de água no lado sul da Lagoa Mirim.

Além da influência dos ventos nos níveis de água, um fator de grande relevância, quando analisadas as oscilações de níveis da Lagoa Mirim, são os seus múltiplos usos, em destaque a irrigação. Tal aspecto também é pontuado por Munar *et al.* (2018), onde os resultados de seu estudo mostraram que os principais processos hidrodinâmicos na Lagoa Mirim são controlados na escala sazonal (meses) pelas descargas fluviais dos principais afluentes e retiradas de água para usos múltiplos (irrigação) e, sendo em escala menor (dias) pelo vento.

Os autores salientam, ainda, no estudo de 11 anos para Lagoa Mirim, que os níveis de água calibrados evidenciaram que as retiradas de água para irrigação influenciam significativamente os níveis de água da Lagoa Mirim.

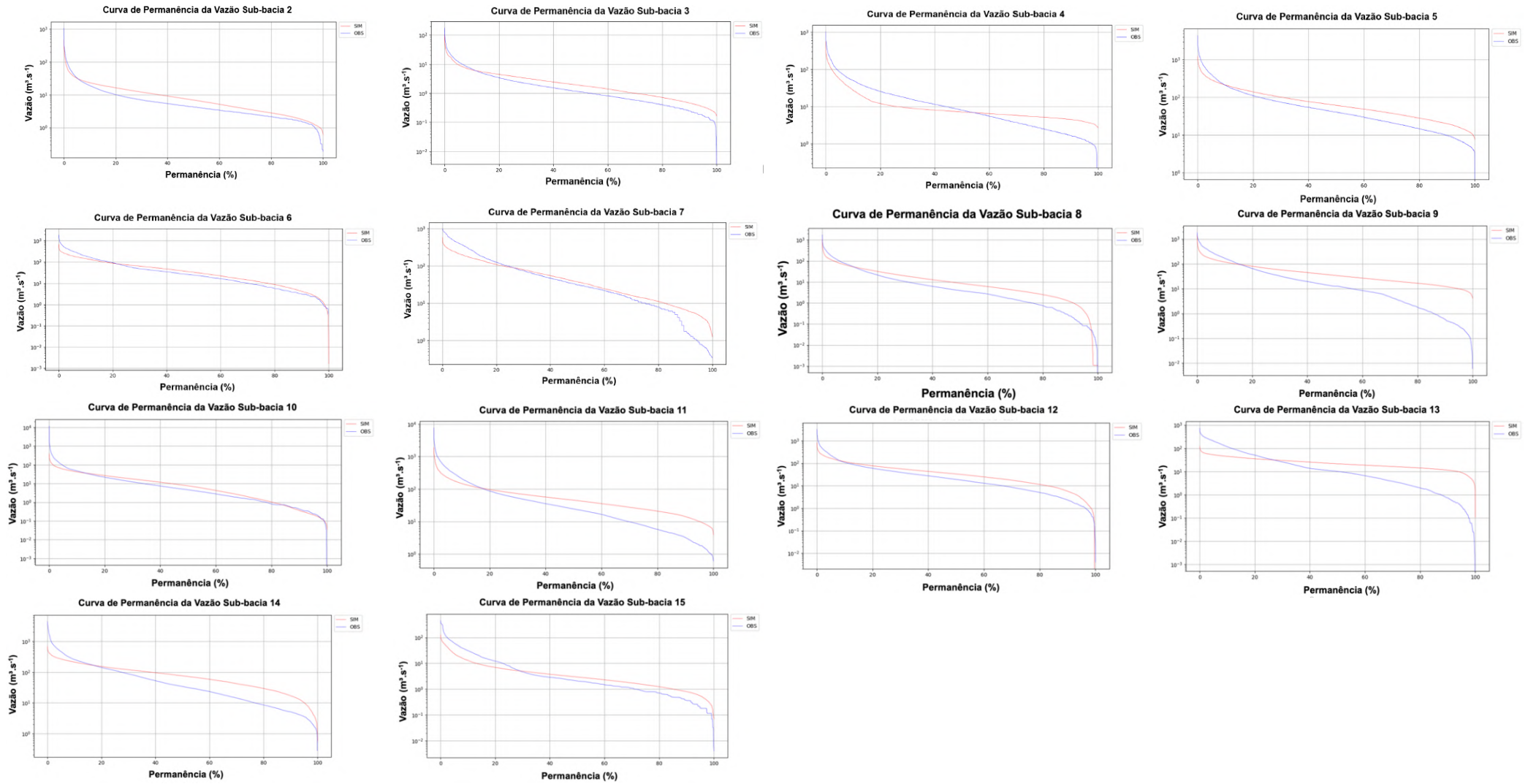
Outro ponto importante a ser analisado é a curva de permanência, apresentada pela Figura 20, para as sub-bacias em questão, geradas através da modelagem proposta. Essa função é uma parte muito utilizada em estudos hidrológicos, uma vez que possibilita identificar probabilidades ou em qual porcentual do tempo que determinada vazão será superada, por exemplo (BASTOS e SILVA, 2022).

A partir da Figura 20, percebe-se que para todas as sub-bacias analisadas, o modelo calibrado superestimou os valores de vazão, onde os valores observados pelos postos disponíveis apresentaram resultado abaixo dos que foram gerados a partir da calibração.

Dentre as sub-bacias apresentadas, nota-se um comportamento semelhante entre as vazões observadas e as calibradas, principalmente nas sub-bacias 2 (Ponte Cordeiro de Farias), 3 (Passo dos Carros), 5 (Pedro Osório), 10 (Vergara), 12 (*Picada de Corbo*) e 15 (*India Muerta*) apresentando uma situação bem próxima das vazões observadas para elas. Entre os destaques negativos, nota-se que as sub-bacias 9 (*Paso Dragón*) e 13 (*Paso del Avestruz*) estão com valores calibrados bem superiores e distantes aos observados.

Ressalta-se a baixa disponibilidade de dados de entrada na porção uruguaia da bacia para melhor resultado do modelo, com a existência de maiores dados de entrada, a modelagem poderia ser realizada a partir de uma divisão entre sub-bacias maiores para que, com isso, pudesse estar mais próximo do desejado para utilização de modelos, como o caso do Modelo de Grandes Bacias (MGB).





**Figura 20** - Curvas de Permanência da vazão geradas pela modelagem proposta para as sub-bacias geradas na BHMSG comparado com os respectivos postos fluviométricos observados.  
 Fonte: MGB, adaptado pelo autor.

### 4.3 Usos Múltiplos

A partir do levantamento dos pontos de retiradas de água, presentes nos mananciais hídricos que compõem a BHMSG, foi identificado um número total de 1.099 atividades registradas nos órgãos regulamentadores no Brasil e no Uruguai. O destaque entre os usos da água na bacia deu-se pela atividade de irrigação, correspondendo a 919 registros (86,62% de todos os usos da bacia), seguidos da pecuária com 92 usos, abastecimento público com 45, abastecimento industrial 38 e mineração com cinco usos registrados (Tabela 11).

**Tabela 11** - Relação de outorgas por tipo de uso para a BHMSG.

Sub-bacia	Usos da água					Total	%
	AI.	AP.	Pec.	Min.	Irri.		
1	17	16	40	2	565	640	58.23
2	3	3	5	1	144	156	14.19
3	5	1	2	1	3	12	1.09
4	2	13	14	1	92	122	11.10
5	0	1	1	0	3	5	0.45
6	6	7	24	0	56	93	8.46
7	1	0	1	0	3	5	0.45
8	3	2	2	0	15	22	2.00
9	0	0	0	0	11	11	1.00
10	0	1	0	0	5	6	0.55
11	0	0	0	0	4	4	0.36
12	0	0	2	0	12	14	1.27
13	0	0	0	0	5	5	0.45
14	1	1	1	0	1	4	0.36
15	0	0	0	0	0	0	0.00
<b>Total</b>	38	45	92	5	919	1099	100,0
<b>%</b>	3,46	4,09	8,37	0,45	86,62	100,00	

Observação: AI. = Abastecimento industrial; AP. = Abastecimento público; Pec. = Pecuária; Min. = Mineração; Irri. = Irrigação.

Nota-se ainda, o predomínio e usos regularizados dentro da sub-bacia 1, onde está localizada a Lagoa Mirim, algo já esperado, totalizando 58,23% das outorgas da BHMSG (640), seguidos das sub-bacias 2 e 4, com 14,19% (156 usos) e 11,10% (122 usos) respectivamente. Além disso, dentre todos os usos regularizados, a maior parte encontra-se na porção brasileira da bacia, com 71,16% (782 usos).

Após o levantamento dos volumes de água retirados e considerando o coeficiente de retorno para cada um dos usos múltiplos presentes na bacia, foi verificada a percentagem de vazão média retirada, apresentadas na Tabela 12.

**Tabela 12** - Retirada de água (vazão total e %) para os usos múltiplos na BHMSG, obtidas a partir dos órgãos regulamentadores do Brasil e Uruguai.

Uso da água	Vazão Total (m³/s)	% Retirada da BHMSG
Abastecimento Industrial	11,66	0,56
Abastecimento Público	80,96	3,92
Pecuária	610,24	29,51
Mineração	0,07	0,00
Irrigação	1364,79	66,00
<b>Total</b>	<b>2067,73</b>	<b>100,00</b>

Na Tabela 12, observou-se que o destaque aos volumes de água retirados ao longo do ano se dá ao uso da irrigação, com 1364,79 (66% do total de água captada registrada na BHMSG). O estudo apresentado pelo MVOTMA (2017) já destacava a importância da irrigação sobre a captação de água na BHMSG (porção uruguaia), correspondendo em 98,5% de toda a captação, seguido por 1,1% para o abastecimento público e de 0,2% para a indústria. Como principal forma de economia da região, o cultivo de arroz irrigado por inundação é o principal fator que justifica a extração de tais volumes, verificando-se, predominantemente, no período que compreende os meses de dezembro a março, coincidente com a irrigação da cultura.

Munar *et al.* (2018) já apresentaram que as retiradas de água da Lagoa Mirim para o uso de irrigação tinham grande influência nos níveis do manancial. Os mesmos autores tratavam do uso de valores hipotéticos de taxa de bombeamento, sendo que o cenário mais extremo, com taxa de 3 l.s<sup>-1</sup>, gerava uma oscilação de nível mensal entre 0,20 m e 0,25 m na Lagoa Mirim.

Destaca-se, ainda, na Tabela 12, que o uso pela pecuária é, responsável por 29,5% dos volumes captados de água na bacia, estando também atrelado ao papel socioeconômico da região, com atividade econômica forte, principalmente em relação a criação de bovinos de corte e leite.

Com os dados de retiradas de água, foi realizada uma análise considerando os índices de escassez ICH e IRA, importantes instrumentos de gestão do uso das águas em bacias hidrográficas.

#### 4.3.1 Índice de Comprometimento Hídrico (ICH)

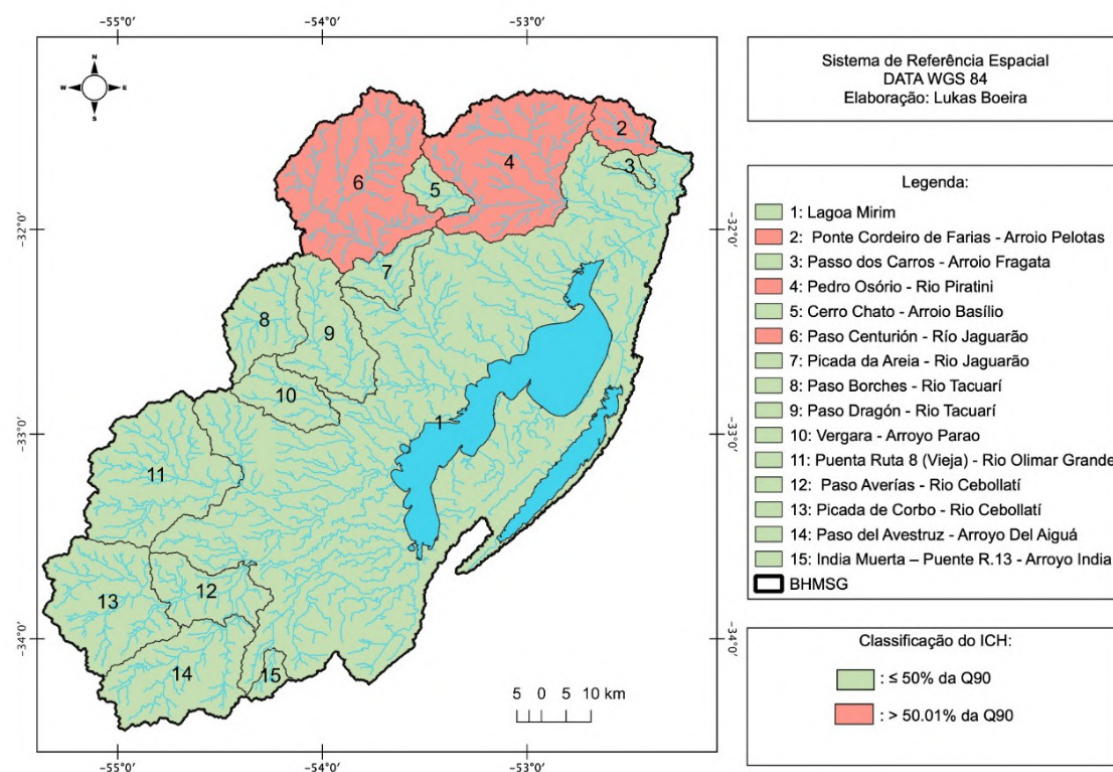
O ICH foi realizado para a BHMSG, a partir da Q90 obtida pela modelagem realizada (Qmes90.txt), a cada uma das sub-bacias e às respectivas vazões médias outorgadas pelos usos múltiplos da água (Tabela 13).

**Tabela 13** - Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) para cada exutório das sub-bacias da BHMSG.

Sub-bacia	Consumo médio ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	Q90 ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )*	ICH (%)
1	142,800	342,524	41,690
2	2,642	2,634	100,296
3	0,127	0,689	18,386
4	10,059	4,629	217,305
5	0,605	23,191	2,608
6	13,718	8,171	167,885
7	1,158	11,733	9,866
8	0,535	2,649	20,186
9	0,203	16,192	1,255
10	0,181	1,883	9,590
11	0,002	20,206	0,012
12	0,400	9,637	4,148
13	0,006	14,529	0,042
14	0,010	30,390	0,033
15	0,000	1,195	0,000

\*Q90, em  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , foram obtidas pelo arquivo Qmes90.txt gerado pela modelagem hidrológica-hidrodinâmica, através da minibacia que se encontra em cada exutório da respectiva sub-bacia.

Ao analisar as vazões considerando o consumo médio de água, identificado na Tabela 13, verifica-se que a sub-bacia 1 se sobressai com 142,8  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , seguidas pelas sub-bacias 6 e 4 com 13,718  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  e 10,059  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Com base nessas informações, obteve-se os índices de comprometimento hídrico, que em grande parte da BHMSG mostram estar numa situação *confortável*, abaixo do limite de 50% da Q90. Isso significa que a soma das vazões captadas pela sub-bacia não supera a porcentagem resultada da respectiva vazão de referência, nesse caso a Q90. Segundo o PERH/RS (2014), quando o ICH superar 50% da vazão, será considerada *especial*. Visto isso, a BHMSG foi enquadrada na situação especial em três sub-bacias: as sub-bacias 2 (100.296%), 4 (217,305%) e 6 (167,885%). Para melhor visualização espacial do presente índice, apresenta-se a Figura 21.



**Figure 21** - Classificação do ICH para cada exutório das sub-bacias utilizada na modelagem na BHMSG.

Fonte: Próprio autor.

Percebe-se, na Figura 21, que o predomínio do índice de comprometimento hídrico da BHMSG está na situação abaixo do limiar de 50% (cor verde). Entretanto, as três sub-bacias na situação *especial* (acima dos 50% da Q90) apresentam a particularidade de estarem localizadas na porção brasileira da bacia, representando necessidade de atenção sob aspecto de gestão dos usos, por apresentarem demandas consuntivas para os usos múltiplos acima de 50% da Q90.

A importância de estudos em bacias hidrográficas que apresentam índices como o ICH é de grande valia, já que acabam direcionando informações de alertas aos gestores, na promoção de maior atenção às captações de água. Por esse motivo que o índice é empregado por órgãos de gestão pública tais como a Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul (SEMA) em seus Planos de Bacias Hidrográficas, caso da porção sul do Estado Brasileiro. Atualmente, a SEMA disponibiliza o Plano para a Bacia do Rio Mampituba, que apresenta valores abaixo dos 50% para o ICH.

Situação semelhante às encontradas para sub-bacias 2, 4 e 6, foram observadas na bacia hidrográfica do Rio das Contas (BHRC), localizada na Bahia, nordeste brasileiro, exibida pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), que obteve ICH em situação *crítica* (INEMA, 2019).

Destaca-se ainda, que para as bacias com maiores valores de ICH, o principal uso da água é para a pecuária — sub-bacia 4 com 91,07% e sub-bacia 6 com 78,95% de toda vazão captada corresponde a esse uso. Isso corrobora com o estudo apresentado pelo SEPLAG/DEPLAN (2020), que apresenta o efetivo de bovinos médio no Rio Grande do Sul e a região da BHMSG, onde encontram-se as sub-bacias 4 e 6, tem média de 100.001 – 200.000 cabeças de bovinos por ano, ressaltando que a média geral para o Rio Grande do Sul é de 13.164.945 cabeças por ano, quando se trata do período anual em questão de 2016 – 2018.

Santos (2022) em seu estudo sobre o balanço hídrico das águas superficiais no Rio Jaguarão (área das sub-bacias 6, 7 e parte da 1), observou que a presente área vem sofrendo grande estresse hídrico nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março), esses que estão atrelados a captação de água para o uso na irrigação para o cultivo de arroz inundado.

Para a Lagoa Mirim (sub-bacia 1), é observado um ICH 41,690%, com consumo de água médio de  $142,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , apresentando uma situação de atenção, por estar muito próxima da faixa de situação *crítica* (faltando apenas um consumo de aproximadamente  $27 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  para passar dos 50% da Q90). Isso comprova a necessidade de maior cuidado e critério para quando as situações de ampliações e novas autorizações de captação de água da Lagoa Mirim forem abordadas, para que não ocorra uma situação mais crítica ao manancial.

Ressalta-se que os dados oriundos da modelagem (Q90), a partir da análise de métricas de desempenho e da análise da curva de permanência das vazões entre os dados observados e calibrados, apresentaram um comportamento de superestimação da vazão. Com isso, deve-se ter um cuidado maior as regiões que apresentaram situações próxima a faixa de atenção quando relacionado a captação de água dos mananciais ali presentes.

### 4.3.2 Índice de Retirada de Água (IRA)

A obtenção do IRA foi através das vazões calibradas para o período de 40 anos, referência desse estudo, utilizando as vazões médias ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ) geradas, que são apresentadas em arquivo RESUMO SIAQUA.txt (Tabela 14).

**Tabela 14** - Índice Retirada da Água (IRA) para cada exutório das sub-bacias da BHMSG.

Sub-bacia	Consumo médio ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )	Qmean ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )*	IRA (%)
1	142,7997	742,421	19,234
2	2,6418	11,318	23,342
3	0,1267	3,225	3,928
4	10,0585	14,710	68,379
5	0,6049	90,939	0,665
6	13,7177	54,534	25,154
7	1,1576	73,801	1,568
8	0,5348	23,218	2,303
9	0,2032	56,113	0,362
10	0,1806	16,323	1,106
11	0,0024	73,687	0,003
12	0,3997	50,669	0,789
13	0,0061	52,404	0,012
14	0,0101	101,370	0,010
15	0,0000	6,572	0,000

\*Qmean, em  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ , obtidas através do arquivo RESUMO SIAQUA.txt, gerado pela modelagem hidrológica-hidrodinâmica, através da minibacia que se encontra cada exutório da respectiva sub-bacia.

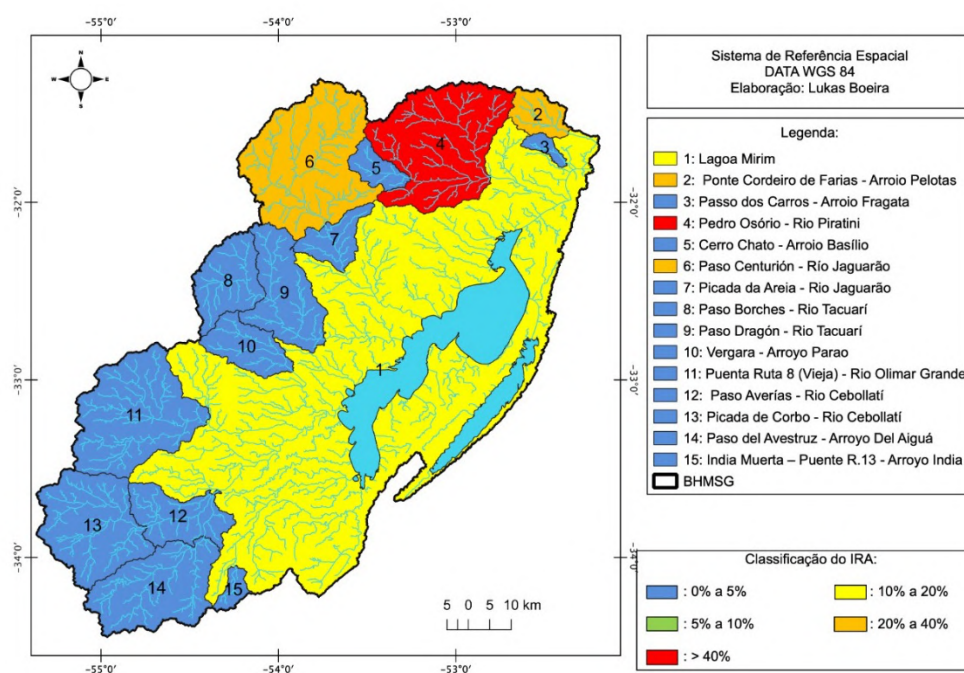
Dentre os destaques apresentados para o índice de retirada da água (IRA), consta que a maior parte da BHMSG se encontra enquadrada na melhor situação (0% a 5%), sendo considerada excelente. A BHMSG é excelente devido a pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento necessária, sendo assim, a água é considerada um bem livre. Dentre as 15 sub-bacias estudadas, 11 apresentam IRA nessa faixa de classificação.

Já para a principal sub-bacia do estudo, de número 1, que representa a Lagoa Mirim como principal manancial hídrico, demonstrou IRA dentro da faixa de classificação preocupante, na qual a atividade de gerenciamento é indispensável para a gestão do recurso hídrico e com exigência de uma realização de investimentos médios. Além disso, destaca-se que essa sub-bacia ficou muito próxima de estar enquadrada numa situação mais crítica (20% a 40%), como as sub-bacias 2 e 6, que são tratadas como de necessidade de intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos. Considerando os resultados do ICH para a sub-bacia 1, percebe-se que a Lagoa Mirim está

próxima do seu limite de captação e, caso ocorra um maior consumo de água, deve-se observar os seus níveis de água, um indicador que norteia a tomada de decisão. Por fim, para a BHMSG foi encontrada uma sub-bacia com situação de IRA, acima de 40% (sub-bacia 4), considerada situação muito crítica, podendo atrelar tal situação pelo uso volumoso de água para pecuária.

Para a SPGG/DEPLAN (2021), a região onde encontra-se a sub-bacia 1 (Lagoa Mirim), configura-se uma região de grande produção de arroz, destaque para o cenário Estadual e Nacional, ressaltando o município de Santa Vitória do Palmar (entre 400.000,01 - 671.790,33 toneladas/ano, maior classificação enquadrada), seguido por Arroio Grande (200.000,01 - 400.000,00), Capão do Leão, Jaguarão, Pelotas, e Rio Grande (50.000,01 - 200.000,00), todos estão na mesma sub-bacia ou captando água da Lagoa Mirim, que a compõe. Além disso, o estudo apresenta uma média de 7.753,663 toneladas/ano de arroz produzida em Casca, RS, mostrando que a região da BHMSG apresenta uma produção superior à média geral do estado, necessitando de grandes volumes de água, visto que o sistema de irrigação é feito por inundação.

Na Figura 22 é possível visualizar tais condições, sob uma perspectiva espacial.



**Figura 22** - Classificação do IRA para as sub-bacias na BHMSG.  
Fonte: Próprio Autor.



Na Figura 22, percebe-se que grande parte da porção uruguaia da bacia encontra-se em uma situação excelente, e na porção brasileira a situação está mais crítica com relação à captação de água e disponibilidade hídrica. As sub-bacias consideradas críticas apresentam usos direcionados a pecuária e cultivo irrigado (arroz), sendo que a pior situação é da sub-bacia 4, onde a pecuária corresponde a um volume total anual captado de  $109,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , considerado um volume alto em relação aos demais usos da sub-bacia, que somados totalizam apenas  $10,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Uma situação verificada nas outorgas é que, em geral, são captados grandes volumes de água utilizados nas atividades como a pecuária, em relação às demais atividades.

Estudos que descrevem o IRA, assim como o ICH, destacando-os como importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos. Para esse caso, se enfatiza o Plano da bacia hidrográfica do Rio Mampituba, onde o predomínio foi para o IRA abaixo de 5% (classificação excelente), situação semelhante encontrada para BHMSG. Para essa, a situação foi excelente e confortável, com índices de 5% a 10%, respectivamente, não sendo considerada uma bacia que necessite de uma atenção maior até o presente momento desta pesquisa, no que se refere aos usos da água (SEMA, 2020).

Na região do Rio Jaguarão (Uruguai e Brasil), em um estudo aplicando o IRA, mostrou-se que a bacia apresentou um índice considerado excelente (0% - 5%), em nove das 12 sub-bacias criadas, com exceção de três sub-bacias localizadas na porção brasileira da BHMSG — as quais fazem parte da sub-bacia 1, 6 e 7 no presente estudo. As sub-bacias 1, 6 e 7 oscilaram entre a situação confortável (sub-bacia 6), preocupante (sub-bacia 7) e crítica (sub-bacia 1, muito próxima de onde encontra-se a sub-bacia 4, enquadrada na pior classificação de IRA), exigindo uma intensa atividade no gerenciamento mitigatório nas duas últimas (SANTOS, 2022).

Verifica-se nos resultados desse estudo, a partir de um importante manancial da bacia, Rio Jaguarão, que os problemas com a utilização de água estão ocorrendo devido à oferta para os distintos usos, algo presente nos dois países, mas com destaque ao lado brasileiro da bacia que requer maior atenção.

Visentin e Guilhoto (2019) avaliaram os principais usuários de água no Brasil, em termos de água virtual (*virtual blue water*) e os impactos das captações

da água através do índice de retirada de água (IRA) para as bacias hidrográficas referidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos. Tais autores verificaram para a região da bacia Litoral RS, onde a parte brasileira da BHMSG se inclui) um IRA na classificação mais crítica ( $IRA > 40\%$ ), considerando os usos para o ano de 2009.

Assim, como ressaltado no ICH, os dados obtidos pela modelagem (RESUMO SIAQUA.txt) demandam cuidado em sua interpretação, devido às métricas de desempenho e curva de permanência das vazões apresentadas, com indicação de uma superestimação das vazões e, com isso, sub-bacias como a 1 (Lagoa Mirim) que se encontra muito próximo do limite de 20% do IRA, deve-se ter maior atenção.

#### 4.4 Influência do Fenômeno Climático El Niño Oscilação Sul

Na última etapa da presente pesquisa, tratou-se da consideração do El Niño e de La Niña nas vazões e níveis de água calibrados para o período de estudo. As vazões médias para os principais mananciais da BHMSG sob regência dos fenômenos climáticos são apresentadas nas Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15** - Vazões médias mensais calibradas para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção uruguaia.

Mês	Vazão média mensal ( $m^3.s^{-1}$ )					
	Rio Cebollatí – Sub-bacia 14			Rio Tacuarí – Sub-bacia 8		
	El Niño	La Niña	Neutro	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	114,16	55,58	61,63	16,72	6,93	11,09
<b>Fevereiro</b>	100,22	43,11	60,25	17,75	7,38	21,41
<b>Março</b>	90,86	38,40	69,38	12,86	9,53	21,19
<b>Abril</b>	86,64	40,29	74,08	42,09	16,16	28,22
<b>Maio</b>	88,61	47,89	102,99	33,12	18,70	36,76
<b>Junho</b>	126,39	87,16	102,96	41,88	30,10	34,98
<b>Julho</b>	122,60	134,46	119,76	34,49	43,26	39,20
<b>Agosto</b>	149,20	144,95	122,73	49,84	31,75	29,38
<b>Setembro</b>	160,23	146,99	99,16	38,85	27,95	24,98
<b>Outubro</b>	177,45	144,19	120,38	49,99	20,47	29,49
<b>Novembro</b>	182,09	115,81	99,20	40,51	10,77	21,91
<b>Dezembro</b>	154,27	78,39	82,33	26,52	4,58	11,06
<b>Média</b>	129,39	89,77	92,90	33,72	18,96	25,81

Na Tabela 15 é possível verificar as vazões dos mananciais de destaque da BHMSG na porção uruguaia, o Rio Cebollatí e o Rio Tacuarí. Assim é possível constatar que para o Rio Cebollatí os valores das vazões durante a regência do

El Niño representaram mais do que o dobro daqueles sob La Niña, também inferior aos valores de neutralidade climática. Já, verificando a situação do Rio Tacuarí, as vazões também apresentaram comportamento superior para os meses regidos pelo El Niño, entretanto não tão distanciado das vazões durante a neutralidade climática, quando comparado com o Rio Cebollatí.

Estudos como de Oliveira, Moller Jr e Fernandes (2013) observaram as estimativas de vazão para o Rio Cebollatí e Tacuarí, no período de 2009 a 2011. Ambos mananciais são grandes tributários para a Lagoa Mirim, sendo que o Rio Cebollatí apresentava picos de vazão comparáveis ou superiores à média do Rio da Prata ( $23.000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ) e maiores que a Bacia da Laguna dos Patos. Os autores destacam, ainda, que para o Rio Tacuarí a situação é semelhante.

No olhar da porção brasileira da bacia, são destaques o Rio Piratini e o Rio Jaguarão, verificada situação semelhante aos mananciais do Uruguai (Tabela 16).

**Tabela 16** - Vazões médias mensais calibradas para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção brasileira.

Mês	Vazão média mensal ( $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ )					
	Rio Piratini – Sub-bacia 5			Rio Jaguarão – Sub-bacia 7		
	El Niño	La Niña	Neutro	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	63,37	42,10	45,83	58,34	15,80	27,14
<b>Fevereiro</b>	82,73	44,63	73,39	45,74	14,67	46,92
<b>Março</b>	53,70	36,76	72,02	38,11	17,78	58,00
<b>Abril</b>	151,67	46,31	95,95	139,68	37,20	75,12
<b>Maio</b>	105,16	64,15	106,93	111,80	54,32	114,07
<b>Junho</b>	129,85	106,85	109,74	140,35	101,53	119,62
<b>Julho</b>	117,22	145,86	144,28	111,38	149,62	126,98
<b>Agosto</b>	178,74	119,77	98,21	165,52	110,75	100,01
<b>Setembro</b>	149,38	98,25	89,04	131,60	91,60	80,84
<b>Outubro</b>	162,14	79,61	105,79	166,52	67,26	96,34
<b>Novembro</b>	143,19	52,98	83,92	136,98	41,72	73,38
<b>Dezembro</b>	85,87	26,07	44,80	88,64	17,07	36,04
<b>Média</b>	118,59	71,95	89,16	111,22	59,94	79,54

Considerar a influência do ENOS em mananciais como Rio Piratini e Rio Jaguarão é significativo ao tratar da BHMSG, visto que são grandes afluentes da Lagoa Mirim, como destacado por Munar *et al.* (2018). Segundo esse estudo, o Rio Jaguarão é o segundo principal afluente da Lagoa Mirim em contribuição de volume total de água, ficando atrás apenas do Rio Cebollatí.

Uma situação interessante ocorre no mês de julho onde para os quatro mananciais apresentados, a vazão média mensal calibrada foi superior para o período de La Niña, sendo o único mês em que o El Niño não foi superior.

Estudos como de Boeira *et al.* (2017), analisando a precipitação e o ENOS para a região de Pelotas, onde se encontra a BHMSG, apresentaram em seus resultados que o comportamento da precipitação média mensal acumulada durante o El Niño, La Niña e neutralidade climática é semelhante para o mês de julho. A situação pode estar atrelada às questões de retirada da água para os usos múltiplos, que para o mês em questão, não apresenta retiradas para o uso na irrigação.

Sob o olhar de significância entre as diferenças entre as vazões para os mananciais apresentados nas Tabelas 15 e 16, foi possível constatar que os dados de vazão analisados não apresentaram uma distribuição normal através do teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 0,05. Por essa razão, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar se existe significância entre a diferença das vazões sob o ENOS.

No que se refere às vazões, o Rio Tacuarí, Rio Jaguarão e Rio Piratini apresentaram diferença significativa sob influência do El Niño e da La Niña quanto aos períodos de neutralidade climática do ENOS, sendo as vazões superiores significativamente apresentadas durante o período de El Niño e inferiores para o La Niña, identificados através do teste de Kruskal-Wallis ao nível de significância de 0,05. Por sua vez, o Rio Cebollatí apresentou vazões com diferença significativa para os meses sob influência de El Niño (vazões superiores às demais), sem apresentar variação significativa as vazões obtidas entre o La Niña quando comparada a neutralidade do ENOS (Tabela 17).

**Tabela 17** - Síntese dos resultados da análise estatística realizada para os dados de vazão sob influência do fenômeno ENOS na BHMSG.

Análise Estatística		Manancial			
		Rio Cebollatí	Rio Tacuari	Rio Jaguarão	Rio Piratini
<b>Distribuição Normal</b>		Não	Não	Não	Não
<b>ENOS</b>	p	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>El Niño</b>	p	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>La Niña</b>					
<b>El Niño</b>	p	0,000	0,246	0,133	0,087
<b>Neutro</b>					
<b>La Niña</b>	p	0,967	0,000	0,000	0,001
<b>Neutro</b>					

p= valores do teste de significância, sendo rejeitado para  $p < 0,05$ . Resultados obtidos através do teste Kruskal-Wallis.

Estudos como de Robertson e Mechoso (1998) relatam a influência do ENOS sobre as vazões nos rios Uruguai e Paraná (América do Sul), em escalas interanuais. Por outro lado, Dettinger *et al.* (2000) evidenciaram uma relação inversa nas correlações entre as vazões dos rios na região Nordeste e Sul do Brasil (a última é região que se encontra a BHMSG), onde as vazões do Sul tendem a diminuir em anos de La Niña, e o contrário é verificado na região Nordeste. Tais estudos corroboram com os resultados encontrados.

Por sua vez, ao realizar a análise com relação à influência do fenômeno ENOS, nos níveis dos principais mananciais da BHMSG, foi possível verificar os resultados relevantes nas Tabelas 18 e 19.

**Tabela 18** - Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção uruguaia.

Mês	Níveis médio mensal (m)					
	Rio Cebollatí – Sub-bacia 14			Rio Tacuarí – Sub-bacia 8		
	El Niño	La Niña	Neutro	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	1,12	0,74	0,75	0,29	0,17	0,22
<b>Fevereiro</b>	1,03	0,63	0,75	0,30	0,18	0,34
<b>Março</b>	1,00	0,59	0,81	0,24	0,20	0,33
<b>Abril</b>	0,95	0,60	0,85	0,46	0,30	0,39
<b>Maio</b>	0,96	0,67	1,03	0,46	0,28	0,48
<b>Junho</b>	1,18	0,97	1,02	0,55	0,45	0,46
<b>Julho</b>	1,19	1,26	1,14	0,50	0,56	0,52
<b>Agosto</b>	1,35	1,34	1,16	0,62	0,46	0,44
<b>Setembro</b>	1,41	1,35	0,98	0,52	0,44	0,39
<b>Outubro</b>	1,50	1,34	1,14	0,59	0,36	0,44
<b>Novembro</b>	1,53	1,17	1,01	0,52	0,23	0,35
<b>Dezembro</b>	1,37	0,92	0,90	0,38	0,13	0,23
<b>Média</b>	1,21	0,97	0,96	0,45	0,31	0,38

Os níveis encontrados para os mananciais de destaque da porção uruguaia (Tabela 18) oscilaram entre valores médios sob El Niño de 1,21 m, a La Niña de 0,97 m e ao Neutro de 0,96 m para o Rio Cebollatí e El Niño de 0,45 m, La Niña de 0,31 m e Neutro de 0,38 para o Rio Tacuarí. Percebe-se que os níveis, assim como as vazões, apresentaram maiores valores durante o El Niño, algo esperado pela relação entre as variáveis e, também, da influência do ENOS com relação à precipitação. Boeira *et al.* (2017a) apresentam, durante o El Niño (acumulado de 1.540,32 mm) para região de Pelotas, componente da BHMSG, volumes precipitados acima dos apresentados durante a neutralidade climática (acumulado de 1.505,09 mm) e por sua vez, La Niña (acumulado de 1.317,46 mm).

Destaca-se ainda, que os mananciais observados na Tabela 18 apresentam menores níveis de água nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, com valores médios oscilando de 0,80 m a 0,87 m, no Rio Cebollatí. Para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março os valores médios variam de 0,23 m a 0,27 m no Rio Tacuarí. Tais situações corroboram com a análise realizada por Munar *et al.* (2018) que verificaram uma situação semelhante, relacionado com a captação de água dos mananciais para o uso da irrigação no cultivo do arroz, muito forte para os meses em destaque.

**Tabela 19** – Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para os principais mananciais da BHMSG porção brasileira.

Mês	Níveis médio mensal (m)					
	Rio Piratini – Sub-bacia 5			Rio Jaguarão – Sub-bacia 7		
	El Niño	La Niña	Neutro	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	0,61	0,48	0,50	0,55	0,26	0,36
<b>Fevereiro</b>	0,70	0,50	0,66	0,48	0,26	0,49
<b>Março</b>	0,55	0,45	0,65	0,43	0,28	0,53
<b>Abril</b>	0,90	0,51	0,72	0,83	0,42	0,62
<b>Maio</b>	0,82	0,57	0,81	0,83	0,49	0,82
<b>Junho</b>	0,94	0,84	0,83	0,99	0,81	0,84
<b>Julho</b>	0,92	1,02	1,00	0,89	1,04	0,93
<b>Agosto</b>	1,18	0,89	0,82	1,11	0,86	0,81
<b>Setembro</b>	1,04	0,85	0,76	0,94	0,79	0,68
<b>Outubro</b>	1,10	0,73	0,85	1,06	0,65	0,79
<b>Novembro</b>	0,99	0,55	0,71	0,96	0,47	0,64
<b>Dezembro</b>	0,70	0,38	0,51	0,71	0,29	0,43
<b>Média</b>	0,87	0,65	0,73	0,81	0,55	0,66

Os níveis para os mananciais no lado brasileiro, Rio Piratini e Rio Jaguarão, apresentaram situações semelhantes ao lado uruguaio, com níveis médias superiores para El Niño e menores para La Niña (Tabela 19). Nos meses com menores níveis, encontra-se novamente uma situação semelhante ao visto para o lado uruguaio da bacia, com os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, oscilando entre 0,53 m e 0,62 m de níveis médios para o Rio Piratini, e 0,39 m a 0,47 m para o Rio Jaguarão, destacando, mais uma vez, a influência do uso da água captada para a irrigação do arroz na região. Outra evidência encontrada semelhante às vazões foi referente ao mês de julho, com níveis maiores para o La Niña. Esse caso é algo esperado, uma vez que, tal comportamento foi encontrado para as vazões e podem estar atrelados às questões dos usos múltiplos, sem as retiradas para irrigação.

Ao analisar os níveis médios obtidos junto a Barragem do Canal São Gonçalo, jusante, pode-se verificar valores semelhantes aos apresentados para os demais mananciais da BHMSG. Valores médios gerais de níveis sob regência do El Niño superior aos demais, enfatizando os menores valores para La Niña, sendo os meses de janeiro, fevereiro, março e abril os de menores níveis médios, entre 0,71 m e 0,75 m (Tabela 20).

**Tabela 20** - Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para a Barragem do Canal São Gonçalo - Jusante.

Mês	Níveis médio mensal (m)		
	Barragem do Canal São Gonçalo - Jusante		
	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	0,94	0,62	0,67
<b>Fevereiro</b>	0,89	0,57	0,67
<b>Março</b>	0,86	0,54	0,73
<b>Abril</b>	0,86	0,62	0,77
<b>Maio</b>	0,68	0,67	0,95
<b>Junho</b>	1,08	0,90	1,01
<b>Julho</b>	1,12	1,19	1,15
<b>Agosto</b>	1,31	1,04	1,09
<b>Setembro</b>	1,28	1,02	0,99
<b>Outubro</b>	1,35	1,23	1,13
<b>Novembro</b>	1,32	1,01	0,98
<b>Dezembro</b>	1,12	0,76	0,83
<b>Média</b>	1,07	0,85	0,91

Um ponto importante a referir são os estudos no âmbito dos níveis de água na Lagoa Mirim e os níveis referentes ao Porto de Santa Vitória do Palmar, extremo sul, e em Santa Isabel do Sul (desembocadura do Canal São Gonçalo na Lagoa Mirim), extremo norte. Tais resultados, sob influência dos ENOS, estão apresentados na Tabela 21, observando-se, da mesma forma, comportamento semelhante aos demais locais, com níveis superiores para os meses com regência de El Niño e, em relação aos de La Niña e Neutro, os valores estavam bem próximos.

A importância de analisar os dados de nível desses dois pontos, Porto de Santa Vitória do Palmar e Santa Isabel do Sul, está na condição de normativa conferida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que estabelece a liberação da captação de água para a irrigação na porção brasileira da Lagoa Mirim, observando valor médio entre os níveis nessas duas estações, onde os valores abaixo de 0,50 m tornam-se um impeditivo para a captação da água. Porém, observando os valores médios mínimos calibrados pelo modelo,

verifica-se que foi encontrado nos meses de março, abril e maio oscilações de valores entre 1,80 m a 1,91 m (Porto de Santa Vitória do Palmar) e 1,27 m a 1,31 m (Santa Isabel do Sul), apresentando médias gerais acima do limite imposto pela ANA, valores maiores de 0,50 metros (Tabela 21).

**Tabela 21** - Níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para o Porto de Santa Vitória do Palmar (Lagoa Mirim) e Santa Isabel do Sul (desembocadura do Canal São Gonçalo com a Lagoa Mirim).

Níveis médio mensal (m)						
Mês	Porto de Santa Vitória do Palmar			Santa Isabel do Sul		
	El Niño	La Niña	Neutro	El Niño	La Niña	Neutro
<b>Janeiro</b>	2,69	1,99	1,95	1,78	1,34	1,35
<b>Fevereiro</b>	2,62	1,69	1,80	1,69	1,15	1,26
<b>Março</b>	2,29	1,48	1,96	1,62	1,01	1,29
<b>Abril</b>	2,16	1,36	1,88	1,52	0,99	1,29
<b>Maio</b>	1,92	1,41	2,09	1,34	1,03	1,51
<b>Junho</b>	2,30	1,93	1,98	1,69	1,41	1,50
<b>Julho</b>	2,34	2,42	2,26	1,74	1,81	1,71
<b>Agosto</b>	2,64	2,68	2,44	1,99	1,95	1,77
<b>Setembro</b>	2,75	2,78	2,17	2,04	2,00	1,61
<b>Outubro</b>	2,96	2,89	2,50	2,19	2,12	1,86
<b>Novembro</b>	3,09	2,65	2,35	2,27	1,90	1,70
<b>Dezembro</b>	2,94	2,31	2,21	2,12	1,59	1,54
<b>Média</b>	2,56	2,13	2313	1,83	1,52	1,53

Analizando as diferenças entre os níveis calibrados dos principais mananciais da BHMSG, observa-se significância sob a influência do fenômeno ENOS (Tabela 22). Foram realizados testes de normalidade, os quais evidenciaram que nenhum dos dados apresentados possuem uma distribuição normal. Devido a isso, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov entre os valores médios de níveis, verificando que os eventos ENOS apresentaram diferença significativa aos níveis da bacia. O Rio Cebollatí, Lagoa Mirim (referenciado pelo ponto onde se localiza a estação de monitoramento do Porto de Santa Vitória do Palmar) e Canal São Gonçalo (como referência os pontos da estação de monitoramento de Santa Isabel do Sul e da Barragem do Canal São Gonçalo – Jusante) apresentaram significância ao nível de 0,05 para a regência do El Niño, sendo os valores de níveis superiores consideráveis significativamente quando analisados aos níveis de La Niña e de neutralidade climática. Já para o Rio Tacuarí, Rio Jaguarão e Rio Piratini a significância ocorreu nos períodos regidos pelo La Niña — com valores de níveis inferiores significativamente aos de regência de El Niño e durante a neutralidade do ENOS.



**Tabela 22** - Síntese dos resultados da análise estatística realizada para os dados de níveis sob influência do fenômeno ENOS na BHSMG.

Análise Estatística		Manancial				Porto SVP-Lagoa Mirim	SIS-CSG	BCSGJ
		Rio Cebollatí	Rio Tacuarí	Rio Jaguarão	Rio Piratini			
<b>Distribuição Normal</b>		Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
<b>ENOS</b>	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>El Niño</b>	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>La Niña</b>	p	0,000	0,229	0,087	0,076	0,000	0,000	0,001
<b>Neutro</b>	p	0,976	0,000	0,000	0,001	0,273	0,439	0,093

p = valores do teste de significância, sendo rejeitado para  $p < 0,05$ . Resultados obtidos através do teste Kruskal-Wallis.

SVP = Santa Vitória do Palmar; SIS – CSG = Santa Isabel do Sul – Canal São Gonçalo; BCSGJ = Barragem do Canal São Gonçalo e sua eclusa: Jusante.

Por fim, a Tabela 23 apresenta os valores médios de níveis sob regência do El Niño, La Niña e durante a neutralidade climática do ENOS para as duas estações em questão. Percebe-se que os valores médios dos níveis obtidos através da modelagem que empregou o MGB, para o período de janeiro de 1980 a dezembro de 2020, há valores superiores a 0,50 m para todos os meses, independente do fenômeno ENOS de regência. Destaca-se ainda, que estes são valores médios mensais, sendo assim, podem ocorrer resultados abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução nº 170, de 4 de fevereiro de 2013 da ANA (menor que 0,50 m), os quais apresentam em baixa ocorrência e com isso, importante de se manter tais valores.

**Tabela 23** – Média entre os valores de níveis médios mensais calibrados para o período de estudo (1980-2020), levando em consideração as regências de El Niño, La Niña para o Porto de Santa Vitória do Palmar (Lagoa Mirim) e Santa Isabel do Sul (desembocadura do Canal São Gonçalo com a Lagoa Mirim).

<b>Média entre os níveis (m)</b>			
<b>Mês</b>	<b>Porto de Santa Vitória do Palmar – Santa Isabel do Sul</b>		
	<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>	<b>Neutro</b>
<b>Janeiro</b>	2,23	1,67	1,65
<b>Fevereiro</b>	2,16	1,42	1,53
<b>Março</b>	1,95	1,25	1,63
<b>Abril</b>	1,84	1,17	1,58
<b>Mai</b>	1,63	1,22	1,80
<b>Junho</b>	2,00	1,67	1,74
<b>Julho</b>	2,04	2,11	1,98
<b>Agosto</b>	2,31	2,32	2,11
<b>Setembro</b>	2,40	2,39	1,89
<b>Outubro</b>	2,58	2,51	2,18
<b>Novembro</b>	2,68	2,27	2,03
<b>Dezembro</b>	2,53	1,95	1,88
<b>Média</b>	2,20	1,83	1,83

Ao analisar as influências dos fenômenos El Niño e La Niña nas variáveis de vazão e níveis para os principais mananciais da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, no que se refere a escassez de água, é possível perceber que o ENOS influencia significativamente. De maneira geral, demandando maior atenção dos gestores para os períodos sob La Niña, especialmente durante os meses de dezembro a maio, os quais resultaram em menores valores de vazão e níveis de água. Esse período do ano é o que apresenta maior captação de água para o uso da irrigação, em especial para o cultivo do arroz inundado, responsável por aproximadamente 66% de todo volume de água captado na bacia e correspondente a pouco mais de 86% de todas as outorgas da mesma.

## 5. Conclusões

Com o presente estudo, foi possível verificar a importância da modelagem hidrológica-hidrodinâmica para a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, pelo grande interesse social e econômico voltado aos múltiplos usos da água nesses mananciais hídricos. As principais constatações foram:

- I. Com a análise de índices relacionados aos usos múltiplos de captação de água dos mananciais da BHMSG, empregado na modelagem, foi possível verificar as capacidades da Lagoa Mirim e os principais afluentes da bacia quanto a oferta de água, onde a porção brasileira da bacia apresenta situação que demanda maior cuidado e gerenciamento atento dos volumes captados de água;
- II. A partir da modelagem, verifica-se que os eventos de La Niña tendem a gerar menores níveis de água ao longo BHSMG e, em períodos regido por El Niño, maiores níveis de água;
- III. Considerando os períodos de regência de La Niña, para os meses de maior captação de água para a irrigação do arroz, verificam-se menores níveis médios de água para os mananciais da BHMSG;
- IV. A partir dos níveis calibrados, percebe-se baixa ocorrência do valor médio, inferior a 0,50 metros, entre os níveis de água das estações modelos (Santa Isabel e Santa Vitória do Palmar), conforme Resolução nº 170/2013 da ANA e, sendo assim, recomenda-se manter tal valor como limitante.

Por fim, com os resultados obtidos, foi possível aceitar as hipóteses I, II e III.

## Referências

ALM. **Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim**. Acesso em 06 jan. 2023. Online. Disponível em: <https://agencialagoamirim.com.br/bacia-hidrografica/>.

ALVES, M. E.; MEYER, A. O.; FAN, F.M.; PAIVA, R.C.D. **Manual de aplicação do modelo MGB utilizando o IPH-HYDRO Tools**. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS. 2020, 55 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Nota Técnica N° 56/2015/SPR**: Atualização da base de demandas de recursos hídricos no Brasil. ANA, 2015.

BARBOSA, M. P.; MORAES NETO, J. M.; ARAUJO, A. E. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, UFCG, v. 11, n.1, p. 61-66, 2007.

BATES, P. D.; HORRITT, M. S.; FEWTRELL, T. J. A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. **Journal of Hydrology**, v. 387, n. 1, p. 33-45, 2010.

BAÚ, A.L., AZEVEDO, C.A.V., BRESOLIN, A. A. Modelagem da precipitação pluvial diária intra-anual da Bacia Hidrográfica Paraná III associada aos eventos ENOS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.8, p.883–891, 2013.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

BOEIRA, L.S.; TRONCO, R.G.; TERRA, V.S.S.; PIANA, C.F.B.P.; NEVES, L.A.; COLLARES, G.L. Influência do Fenômeno Climático El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a precipitação média mensal na região de Pelotas-RS. **Anais XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017a.

BOEIRA, L. S.; TERRA, V. S. S.; BARBARA NETO, M.; NEVES, L. A. Interferência do Fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) na produção de arroz irrigado na metade Sul do Rio Grande do Sul. In: XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Maceió - AL. **Anais XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2017b.

BOEIRA, L.S.; BÁRBARA NETO, M.; NEVES, L.A.; TERRA, V. S. S.; COLLARES, G. L. Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith em anos de ENOS para microrregião de Pelotas-RS. **IRRIGA**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 537–548, 2020. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n3p537-548.

BOEIRA, L. S.; GONÇALVES, G. M. S.; BARTELS, G. K.; SILVEIRA, J. F.; COLLARES, G. L. Influência do fenômeno El-Niño Oscilação Sul no cultivo de arroz irrigado na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo. **IRRIGA**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 344–356, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n2p344-356.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (org.). **Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil: Produto 6 – Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industrial e Agricultura Irrigada**. Brasília: 2011. Disponível em <[https://mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao21032012055532.pdf](https://mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao21032012055532.pdf)>.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p. Disponível em <<https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes>>;

BREMICKER, M. **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären Hydrologie-Modells**. Dissertation - Geowissenschaftlicher Fakultät, Albert-LudwigsUniversität. Freiburg. Juli, 1998.

BRITO NETO, R. L.; TAGLIAFERRE, C.; LEMOS, O. L.; ROCHA, F.A.; PAULA, A. Aplicação do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do Rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 191-213, jan./mar. 2021. Doi:<https://doi.org/10.5902/1980509836095>

BUARQUE, D. C., FAN, F. M., PAZ, A. R. & COLLISCHONN, W. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91-103. 2009.

CHU, Pao-Shin. Brazil's climatic anomalies and ENSO. In: GLANTZ, M.H.; RICHARD, W.K.; NICLHOLLS, N. Teleconnection linking worldwide climate anomalies. **New york, Cambridge University**. 1991. P 43-72.

COLLISCHONN, W.; GAMA, C. H. A.; SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S. **Manual de Referência Teórica do MGB**. HGE, IPH, UFRGS, 2020. 46 p

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 270 f. 2001.

COLLISCHONN, W., ALLASIA, D.G., SILVA, B.C., TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895. 2007.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Outorgas: o melhor instrumento para gerenciar os recursos hídricos**. Disponível em:< <http://www.daee.sp.gov.br/site/oqueeoutorga/>>. Acesso em: 07 jan. 2023.

DETTINGER, M.D.; CAYAN, D.R.; MCCABE, G.J.; MARENGO, J.A. Multiscale streamflow variability associated with El Niño/Southern Oscillation. In: DIAZ, H. F.; MARKGRAF, V. (Org.). **El Niño and the Southern Oscillation - Multiscale Variability, Global and Regional Impacts**, Cambridge: University Press, 2000. P. 114-147.

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

DINAGUA, **Dirección Nacional de Aguas. Aprovechamientos de los Recursos Hídricos vigentes 2019**. Disponível em: <<https://dataurbe.appcivico.com/dataset/mvotma-dinagua-aprovechamientos-de-los-recursos-hidricos-vigentes-2019>>. Acesso em: 25 out. 2021.

DRHS, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba: Fase A – Diagnóstico**. 2020. Disponível em:< <https://sema.rs.gov.br/l050-bh-mampituba>>. Acesso em: 20 set. 2021.

FAN, F. M. **Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográfica: Integração do modelo MGB-IPH**. 2011. 183f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FAN, F.M.; COLLISCHONN, W.; SORRIBAS, M. V.; PONTES, P. R. M. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 241-257, 2013.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.

FAN, F. M.; PONTES, P. R. M.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 137-147, 2014.

FAN F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In: **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Novembro de 2015, Brasília-DF. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium (Lavras)**, v. 6, p. 36-41, 2008.

FERNANDES, E.H.L., DYER, K.R., MÖLLER, O.O., NIENCHESKI, L.F.H. The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event (1998). **Continental Shelf Research**. 22, 1699–1713, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(02\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00033-X).

FERNANDES, E.H.L., DYER, K.R., MÖLLER, O.O., 2005. Spatial gradients in the flow of Southern Patos Lagoon. **Journal of Coastal Research**. 20, 102–112. <https://doi.org/10.2112/006-NIS.1>, 2005.

FERNANDES, F. M.; COLLARES, G. L.; CORTELETTI, R. A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 59-77, 2021.

FLEISCHMANN, A. S.; SIQUEIRA, V. A. ; COLLISCHONN, W. ; FAN, F. M. Desenvolvimento do módulo de reservatórios do modelo hidrológico MGB-IPH. In: **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2015, Brasília. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2015

FRAGOSO, C.R., MARQUES, D.M.M., FERREIRA, T.F., JANSE, J.H., VAN NES, E.H. Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. **Environmental Modelling & Software**, 26, 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.05.004>, 2011.

GLANDZ, M.H. **Currents of change: impacts of El Niño and La Niña on climate and society**. 2.ed. Cambridge: University, 2001. 252p.

Glantz, M. H., J. D. Thompson. **Resource Management and Environmental Uncertainty: Lessons from Coastal Upwelling Fisheries**. John Wiley & Sons, p. 491, 1981.

GOMES, M. M. de A. **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na Bacia do Rio Capibaribe**. Dissertação de Mestrado)– Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 155f. 2019

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. **Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim**. In: FILIPPINI ALBA, J. M. (Ed.). Sustentabilidade socioambiental da bacia da Lagoa Mirim. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2010. p. 19-30

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. ; GOMES, J. . Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Nino and La Nina events. **Journal of Climate**, Boston, v. 11, n.11, p. 2863-2880, 1998.

HARTMANN, C.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROSA, R.; SANO, E. E. Avaliação da área e inundação do canal de São Gonçalo, através de imagens TM-Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 1986, Gramado – RS. **Anais [...]**. Gramado: INPE, 1986. v. 2, p. 654-659.

HARTMANN, C.; HARKOT, P. F. C. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos – RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 329-332, 1990.

HGE. **Hidrologia de Grande Escala**. Disponível em:<<https://www.ufrgs.br/hge/mgb/o-que-e/>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3, p. 211-232, 1989.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Resolução 170, de 04 de fevereiro de 2013**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=129433>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

INEMA. **Instituto de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Contas**. 2019. 246 p. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/PF-03-S%C3%ADntese-Executiva-do-PRHRC.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

JARDIM, P. F.; FLEISCHMANN, A. S.; PELINSON, D.; SIQUEIRA, V. A.; FAN, F.M.; COLLISCHONN, W. **Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB-IPH 2017 utilizando o IPH-Hydro Tools**. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS. 2017, 90 p.

KARSBURG, R. M.; BOEIRA, L. S.; BARBARA NETO, M.; TERRA, V. S. S.; NEVES, L.; DAME, R. C. F. Influência do Fenômeno Climático El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a temperatura média e umidade relativa na região de Pelotas-RS. In: **XIX Encontro de Pós-Graduação UFPEL-ENPOS**, 2017, Pelotas. XIX Encontro de Pós-Graduação UFPEL-ENPOS, 2017.

KHAKBAZ, B.; IMAM, B.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S. From lumped to distributed via semi-distributed: Calibration strategies for semi-distributed hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 418–419, p. 61–77, 2012.

LIANG, X.; LETTENMAIER, D.; WOOD, E. F. & BURGE, S. J. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n° D7 p. 14.415-14.428, July, 1994.

LIU, S.; SHAO, Y.; YANG, C.; LIN, Z.; LI, M. Improved regional hydrologic modelling by assimilation of streamflow data into a regional hydrologic model. **Environmental Modelling and Software**, v. 31, p. 141–149, 2012.

LOPES, V. A. R.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. ; PONTES, P. R. M. ; SIQUEIRA, V. A. Aplicação preliminar do modelo MGB-IPH para a bacia hidrográfica completa da Laguna dos Patos. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2015.

LOPES, V. A. R. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento**. 2017. 194f. Dissertação (Mestrado) em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.



LOPES, V. A. R.; FAN, F. M.; PONTES, P. R. M.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W.; DA MOTTA MARQUES, D. A first integrated modelling of a river-lagoon large scale hydrological system for forecasting purposes. **Journal of hydrology**, v. 565, p. 177-196, 2018.

MARKS, D.; DOZIER, J.; FREW, J. Automated basin delineation from digital elevation data. **GeoProcessing**, v. 2, p. 299-311, 1984.

MEDEIROS, M. S.; FLEISCHMANN, A. S.; OLIVEIRA, A. M.; CORATI, B. K.; FAN, F. M.; MARTINBIANCHO, G. K.; JARDIM, P. F.; CORREA, S. W.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W. **Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2018 utilizando o IPH-Hydro Tools**. 2019. 85 p.

MELLER, A.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. Assimilação de Dados de Vazão na Previsão de Cheias em Tempo-Real com o Modelo Hidrológico MGB-IPH. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 209-224, 2012.

MVOTMA, Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. **Plan Nacional de Aguas**. Disponível em: < <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/politicas-y-gestion/planes/plan-nacional-aguas> >. Acesso em: 26 set. 2022.

MUNAR, A. M.; CAVALCANTI, J. R.; BRAVO, J. M.; FAN, F. M.; MOTTA-MARQUES, D.; FRAGOSO, C.R. Coupling large-scale hydrological and hydrodynamic modeling: Toward a better comprehension of watershed-shallow lake processes. **Journal of hydrology**, v. 564, p. 424-441, 2018.

NIJSSEM, B; LETTENMAIER, D. P.; LIANG, X.; WETZEL, S. W. & WOOD, E. F. Streamflow simulation for continental-scale river basins. **Water Resources Research**, v. 33 n° 4 p. 711-24, April, 1997.

NIQUINI, L. L.; NUNES, A. A.; PONTES, B. S.; LOPES, C. P. L.; SOUZA, J. C.; DRUMMOND, J. M.; GONÇALVES, R. R. Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: estudo de caso para a bacia do córrego ressaca, situada no município de Belo Horizonte. **Periódico da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 3, n. 1, 2019.

NOVAK, P.; GUINOT, V.; JEFFREY, A.; REEVE, D. Hydraulic modelling – an introduction: principles, methods and applications. [s.l.] **Spon Press**, 2010. v. 1614 p.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The Extraction of Drainage Networks From Digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984

OLIVEIRA, R. F.; ZOLIN, C.; TORRES, R. C.; LOPES, T. R. Aplicação do modelo de grandes bacias (MGB-IPH) para simulação da vazão na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. In: **V Jornada Científica da Embrapa Agrossilvopastoril**, 2016.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER, O. O.; COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 34-45, 2015.

OLIVEIRA, H. A.; MÖLLER, O. O.; FERNANDES, E. H. L. ESTIMATIVAS DE VAZÃO DA LAGOA MIRIM E A CONTRIBUIÇÃO DOS AFLUENTES CEBOLLATI, TAÇUARI E PIRATINI. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves**. Anais XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

OPPLERT, M. J. P.; WLODARSKI, L.; BARBOSA, T. M. F.; PACHOUD, C.; VENDRUSCOLO, R.; SAYAGO, D. A. V.; SILVEIRA, V. C. P.; WAQUIL, P. D.; TOURRAND, J. Multifuncionalidade da pecuária extensiva: caso do Norte do Uruguai. **AGRICULTURA FAMILIAR (UFPA)**, v. 14, p. 101-125, 2020.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: Bacia do Rio Solimões**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 182f. 2009.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen - Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, Goettingen, v. 1, n.11, p. 1633-1644, 2007.

PETRUCCI, G.; BONHOMME, C. The dilemma of spatial representation for urban hydrology semi-distributed modelling: trade-offs among complexity, calibration and geographical data. **Journal of Hydrology**, v. 517, p. 997-1007, 2014.

PIÑA, W.H.S., DI LANDRO, H.R., TURBAN, L. (2002). The Vertical Datum and Local Geoidal Models in Uruguay. **International Association of Geodesy Symposia**, vol 124. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-04683-8\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04683-8_32)

PONTES, P. R. M. **Comparação de modelos hidrodinâmicos simplificados de propagação de vazão em rios e canais**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 159f., 2011.

PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 888-904, 2015.

PONTES, P.R.M.; FAN, F.M.; FLEISCHMANN, A.S.; PAIVA, R.C.D.; BUARQUE, D.C.; SIQUEIRA, V.A.; JARDIM, P.F.; SORRIBAS, M.V. &

COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling & Software**, v. 94, p.1-20, 2017.

POSSA, T. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo com influência do vento**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 123f.,2019.

POSSA, T. M.; COLLARES, G. L.; BOEIRA, L. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; TERRA, V. S. S. Fully coupled hydrological–hydrodynamic modeling of a basin–river–lake transboundary system in Southern South America. **Journal of Hydroinformatics**; 24 (1): 93–112, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2021.096>

RAO, V.B., HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil, annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 2, p. 81-91. 1990.

RAICOSKI, P. H. R. ; KIST, A. . A influência do fenômeno ENOS em variáveis climáticas de algumas capitais brasileiras. In: **XXVII EAIC Encontro Anual de Iniciação Científica**, 2018, Ponta Grossa. Anais do XXVII EAIC, 2018.

ROBERTSON, A.W.; MECHOSO, C.R. Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. **Journal of Climate**, v. 11, n. 10, p. 2570-2581, 1998.

SANTOS, Gabriel Borges dos. **Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão**. Orientador: Gilberto Loguercio Collares. 2022. 114f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

SANTOS, J. Y. G.; CARVALHO NETO, J. G.; SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. Aplicação do modelo SWAT para a simulação chuva-vazão na Bacia do Rio Tapacurá, Estado de Pernambuco. **Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves. RS, Brasil, pp.01-08, 2013.

SCOR. Prediction of El Nino. Proc. No. 19, Paris, France, **Scientific Committee for Ocean Research Working Group** 55, 47-51, 1983.

SEMA. **Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura - Fase A: Diagnóstico Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio Mampituna**. Versão 3, 2020. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/l050-bh-mampituba>. Acesso em: 15 set. 2021.

SEMA (2022). Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul: **Bacia Hidrográfica da Lago Mirim e do Canal São Gonçalo (L040)**.

Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/l040-bh-mirim>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

SEMA (2023). Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul:

**Outorga.** Disponível em:

<<https://sema.rs.gov.br/outorga#:~:text=Caber%C3%A1%20ao%20Departamen%20de%20Recursos,bem%20como%20para%20a%20dispensa>>. Acesso em: 07 jan. 2023.

SEPLAG/DEPLAN (2021). **Arroz, média 2018-2020 – RS.** Atlas

socioeconômico Rio Grande do Sul. Disponível em:

<<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz>>. Acesso em 26 set. 2022.

SEPLAG/DEPLAN (2020). **Efetivo de bovinos, média 2016-2018 – RS.** Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul. Disponível em: <

<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/bovinos#:~:text=Destacam%2Dse%20os%20munic%C3%ADpios%20de,para%20o%20per%C3%ADodo%202018%2D2020>>. Acesso em 26 set. 2022.

SHUTTLEWORTH, W. J. **Evaporation.** IN MAIDMENT, D. R. (Ed.) Handbook of Hydrology. New York, McGraw-Hill Inc., 1993.

SIOUT. **Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul.** Disponível em:

<<http://www.siout.rs.gov.br/#/>>. Acesso em: 25 out. 2021.

SILVA, B. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de inundações na zona urbana de Caruaru, PE.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco, 2019, 109 p.

SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in open-source environment. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n. 1, p. 274-287, 2016.

STEINKE, V. A. **Identificação de áreas úmidas prioritárias para a conservação da biodiversidade na bacia da Lagoa Mirim (Brasil-Uruguai): Subsídios para a gestão transfronteiriça.** Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, 2007, 138 p.

STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Exportação de carga poluidora para identificação de áreas úmidas sob risco ambiental na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim. **Sociedade & Natureza (UFU. Impresso)**, v. 20, p. 43-67, 2008.

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

SUEKAME, H. K.; COMMAR, L. F. S.; GONÇALVES, F. V.; CARVALHO, G. A.; PEREIRA, R. B. Modelagem Hidrológica Combinado à Mudança Climática, Uso

e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, 2021, v. 44, 35407.

TRENBERTH, K.E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2012

VERGASTA, L. A.; CORREIA, F. W. S.; CHOU, S. C.; NOBRE, P.; LYRA, A. A.; GOMES, W. B.; CAPISTRANO, V.; VEIGA, J.A.P. Avaliação do Balanço de Água na Bacia do Rio Madeira Simulado Pelo Modelo Regional Climático Eta e o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias MGB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 1-17, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863610005>

VIANA, J. F. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; DA SILVA, B. B.; DA SILVA, R. M.; SOUSA, W. S. Modelagem Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama-PE utilizando o modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 03, n. 01, p. 155-172, 2018.

VISENTIN, J. C.; GUILHOTO, J. J. M. The Role of Interregional Trade in Virtual Water on the Blue Water Footprint and the Water Exploitation Index in Brazil. **The Review of Regional Studies**, p. 299-322, 2019.

VIOLA, M. R.; Mello, C. R.; ACERBIJR., F. W.; SILVA, A. M. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)**, v. 13, p. 581-590, 2009.

WALKER, G. T. Correlation in seasonal variations of Weather, VIII: A preliminar study of world Weather. **Mem. Indian Meteor. Dept.**, 24, p. 75-131, 1923.

WALKER, G. T., BLISS, E. W. World Weather IV. **Mem. Roy. Meteor. Soc.**, 2, p. 81-95, 1930.

## Anexo



**Altura da Vegetação**

URH	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
-----	---------	-----------	-------	-------	------	-------	-------	--------	----------	---------	----------	----------

[illegible]

URH	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
-----	---------	-----------	-------	-------	------	-------	-------	--------	----------	---------	----------	----------

[illegible]



**Anexo B** – Valores do Oceanic Niño Index (ONI) obtidos pelo National Weather Service (NWS), para o período de estudo de janeiro de 1980 à dezembro de 2020.

Ano	Oceanic Niño Index (ONI)											
	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6

**Continuação Anexo B** – Valores do Oceanic Niño Index (ONI) obtidos pelo National Weather Service (NWS), para o período de estudo de janeiro de 1980 à dezembro de 2020.

<b>2011</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>	<b>-1.1</b>	<b>-1.0</b>
<b>2012</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
<b>2013</b>	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
<b>2014</b>	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>
<b>2015</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.2</b>	<b>2.4</b>	<b>2.6</b>	<b>2.6</b>
<b>2016</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>1.6</b>	<b>0.9</b>	0.4	-0.1	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>
<b>2017</b>	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	<b>-0.7</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1.0</b>
<b>2018</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.2	0.0	0.1	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>
<b>2019</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.1	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>
<b>2020</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.2</b>

Fonte: NOAA (2021)

## **Apêndice**

**Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem**

<b>Sub-Bacia 1</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	450,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10	10,00	100,00	1200,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	500,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	350,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	380,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	250,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	280,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	100,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	100,00	0,16	3,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

<b>Sub-Bacia 2</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	280,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10	10,00	100,00	1200,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	300,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	200,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	250,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	180,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	200,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	2,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	10,00	0,12	1,05	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

<b>Sub-Bacia 3</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	320,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10	10,00	200,00	3600,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	360,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	280,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	230,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	150,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	200,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	50,00	0,16	0,75	10,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
<b>Sub-Bacia 4</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	150,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10	5,00	200,00	3600,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	200,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	100,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	140,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	90,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	12,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	10,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	10,00	1,16	5,00	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

Sub-Bacia 5											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	320,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10	5,00	20,00	3600,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	380,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	220,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	260,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	120,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	180,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	50,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	50,00	0,16	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Sub-Bacia 6											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	450,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10	20,00	50,00	2500,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	500,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	350,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	380,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	250,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	280,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	100,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	100,00	0,12	1,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

Sub-Bacia 7											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	320,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10	20,00	20,00	3600,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	380,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	280,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	230,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	220,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	260,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	100,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	100,00	3,50	0,01	4,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Sub-Bacia 8											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	300,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10	10,00	20,00	1200,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	320,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	230,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	250,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	150,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	180,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	50,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	50,00	0,12	0,85	30,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

<b>Sub-Bacia 9</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	380,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10	10,00	200,00	7000,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	400,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	320,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	350,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	220,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	280,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	100,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	100,00	0,12	2,05	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
<b>Sub-Bacia 10</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	250,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10	20,00	50,00	1200,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	280,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	200,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	230,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	150,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	180,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	50,00	0,12	0,01	8,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				



Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

<b>Sub-Bacia 11</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	250,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10	20,00	50,00	1200,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	280,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	180,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	230,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	180,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	180,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	50,00	0,20	1,00	1,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
<b>Sub-Bacia 12</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	200,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10	10,00	20,00	1000,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	150,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	100,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	150,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	80,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	100,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	50,00	1,60	1,60	40,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

<b>Sub-Bacia 13</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	180,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10	35,00	250,00	8000,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	200,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	130,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	150,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	200,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	50,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	0,00	2,50	5,00	0,01	0,50	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
<b>Sub-Bacia 14</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	180,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10	30,00	50,00	2500,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	200,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	180,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	200,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	130,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	150,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	50,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	50,00	1,60	1,05	20,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Continuação do Apêndice A – Valores para os parâmetros calibráveis adotados na presente modelagem

<b>Sub-Bacia 15</b>											
<b>URH</b>	<b>Wm</b>	<b>b</b>	<b>Kbas</b>	<b>Kint</b>	<b>XL</b>	<b>CAP</b>	<b>Wc</b>	<b>CS</b>	<b>CI</b>	<b>CB</b>	<b>QB</b>
<b>Floresta + Solo Raso</b>	30,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10	1,00	60,00	3500,00	0,01
<b>Floresta + Solo Profundo</b>	50,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Raso</b>	20,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Agricultura + Solo Profundo</b>	40,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Raso</b>	20,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Campo + Solo Profundo</b>	20,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Zonas Úmidas</b>	2,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Áreas Semipermeáveis</b>	10,00	0,05	1,20	30,00	0,67	0,00	0,10				
<b>Água</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

**Apêndice B** – Valores de Qmes90.txt geradas pela modelagem hidrológica – hidrodinâmica, para o período de 1980-2020.

Sub-bacia	Minibacia*	Qmes90 (m³/s)											
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
<b>1</b>	1777	295.106	262.388	240.839	231.964	286.595	280.545	359.235	414.042	438.279	479.970	438.221	383.108
<b>2</b>	1394	1.513	1.410	1.192	1.310	1.429	2.187	3.250	3.217	5.284	5.579	3.212	2.025
<b>3</b>	1284	0.398	0.370	0.310	0.306	0.393	0.460	0.752	0.734	1.439	1.503	1.009	0.593
<b>4</b>	1484	4.235	4.080	4.105	4.028	3.913	4.657	4.950	4.989	5.454	5.380	5.189	4.565
<b>5</b>	1682	12.324	14.314	14.466	13.637	15.556	22.247	31.146	29.954	41.247	39.835	26.231	17.340
<b>6</b>	1700	2.405	2.181	2.386	2.271	2.481	5.996	12.762	13.423	18.750	19.111	11.181	5.104
<b>7</b>	1728	3.807	4.021	3.632	3.533	4.333	10.415	17.659	19.658	26.075	25.130	15.191	7.347
<b>8</b>	1622	0.153	0.168	0.105	0.300	0.906	3.513	6.296	5.621	6.222	4.823	2.620	1.066
<b>9</b>	1703	10.437	9.992	10.881	10.680	10.432	15.850	21.602	21.972	27.078	24.830	17.662	12.890
<b>10</b>	1625	0.186	0.183	0.196	0.190	0.254	1.093	3.875	4.570	6.218	4.183	1.285	0.361
<b>11</b>	1683	10.303	10.046	8.784	9.443	10.312	17.950	25.239	31.786	40.047	35.744	26.423	16.400
<b>12</b>	1654	1.375	2.618	2.627	3.136	5.349	10.871	18.674	16.640	20.018	18.688	11.017	4.632
<b>13</b>	1694	9.310	8.824	9.674	9.518	9.288	14.226	19.738	19.945	24.514	22.251	15.717	11.344
<b>14</b>	1720	7.300	10.476	13.600	14.268	17.042	32.010	53.266	48.206	55.386	59.750	35.085	18.296
<b>15</b>	1482	0.531	0.623	0.665	0.713	0.744	1.418	1.932	1.783	2.067	1.798	1.243	0.817

\*Minibacia utilizada corresponde a minibacia localizada no exutório da sub-bacia em questão.

**Apêndice C** – Valores de vazão média (Qmean) geradas pela modelagem hidrológica – hidrodinâmica, para o período de 1980-2020, obtidas através do arquivo RESUMO SIAQUA.txt.

<b>Resumo SIAQUA</b>			
<b>Sub-bacia</b>	<b>Minibacia*</b>	<b>Qmédia (m³/s)</b>	<b>Q90 (m³/s)</b>
<b>1</b>	1777	742.421	321.96
<b>2</b>	1394	11.318	1.881
<b>3</b>	1284	3.225	0.470
<b>4</b>	1484	14.710	4.518
<b>5</b>	1682	90.939	18.284
<b>6</b>	1700	54.534	4.027
<b>7</b>	1728	73.801	6.528
<b>8</b>	1622	23.218	1.077
<b>9</b>	1703	56.113	12.625
<b>10</b>	1625	16.323	0.323
<b>11</b>	1683	73.687	13.622
<b>12</b>	1654	50.669	5.690
<b>13</b>	1694	52.404	11.268
<b>14</b>	1720	101.370	18.595
<b>15</b>	1482	6.572	0.880

\*Minibacia utilizada corresponde a minibacia localizada no exutório da sub- bacia em questão.