UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ LUIZ DE CAMPOS

CALIBRAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS COM UM SISTEMA INTEGRADO DE ESTIMATIVA DE CHUVA



ANDRÉ LUIZ DE CAMPOS

CALIBRAÇÃO DE UM MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS COM UM SISTEMA INTEGRADO DE ESTIMATIVA DE CHUVA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Gonçalves

CURITIBA 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP) UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Campos, André Luiz de

Calibração de um modelo hidrológico de grandes bacias com um sistema integrado de estimativa de chuva / André Luiz de Campos. – Curitiba, 2021. 1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: José Eduardo Gonçalves

1. Hidrologia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Precipitação (Meteorologia). 4. Bacias hidrográficas. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. III. Gonçalves, José Eduardo. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO SETOR DE TECNOLOGIA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL - 40001016021P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de ANDRE LUIZ DE CAMPOS intitulada: Calibração de um modelo hidrológico de grandes bacias com o um sistema integrado de estimativa de chuva, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 18 de Junho de 2021.

Assinatura Eletrônica 29/06/2021 12:50:42.0 JOSÉ EDUARDO GONÇALVES Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica 01/09/2022 19:18:37.0 REINALDO BOMFIM DA SILVEIRA Avaliador Externo (55001164) Assinatura Eletrônica 29/06/2021 14:14:04.0 DANIEL HENRIQUE MARCO DETZEL Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica 29/06/2021 16:39:30.0 BRUNO VICTOR VEIGA Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - DEP. DE HIDRÁULICA)

Centro Politécnico, Bloco V - CURITIBA - Paraná - Brasil CEP 81531-990 - Tel: (41) 3361-3210 - E-mail: ppgerha@ufpr.br Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal <u>Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015</u>. Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 98673 Para autenticar este documento/assinatura, acesse https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp e insira o codigo 98673

Aos amores da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Existem diversas pessoas as quais gostaria de agradecer.

Começo agradecendo à minha mãe Laura e ao meu pai Nelson (*in memorian*), que apesar das dificuldades em entender as razões pelas quais eu passava mais tempo na frente do computador, sempre me deram as condições para que eu fizesse aquilo que eu mais gostava: estudar.

Agradeço ao Alexandre Lautert por muitas imagens deste trabalho, mas não apenas por elas: obrigado por ser uma pessoa paciente e companheira, que esteve ao meu lado desde o início do Mestrado, e que desejo que permaneça ao meu lado por muito mais tempo.

Agradeço a muitos amigos, mas em especial à Nathalli Rogiski (que também é Mestre!), que foi a minha salva-vidas durante todo este período de pós-graduação, me ajudando com prazos, ouvindo meus infinitos áudios, compartilhando alegrias e surtos (principalmente os surtos) e me fazendo rir com seu humor peculiar (e que eu adoro!). Obrigado, amiga!

Agradeço ao meu orientador José Eduardo pelo companheirismo, e é uma pena que a pandemia nos privou de mais momentos juntos. Discutir sobre trabalho é bom, mas dar risada enquanto tomamos um café (ou uma cerveja) é melhor ainda! Espero que possamos continuar trabalhando juntos, nessa mesma harmonia!

Agradeço, também, ao Simepar que apoiou essa dissertação com o Projeto #6491-0503/2018, por meio do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, que é executado pelo Simepar, Rhama para a Copel GeT.

Agradeço ao PPGERHA e à UFPR, minha *alma mater*, pela formação de excelência. É uma honra ter trilhado parte da minha vida profissional sob a vossa tutela

р І р Ì u р І р І u V u v i р І u v v р І а i i u I f а а f I i u I v f I I u u v i а I f i ۷ а f l u f l u v v i i a I I а

(Augusto de Campos, "Pluvial", 1959)

RESUMO

Na modelagem chuva-vazão, a principal variável de entrada é a precipitação, e o entendimento de sua variação temporal e espacial é fundamental para a obtenção de bons resultados na simulação hidrológica. Convencionalmente, os volumes precipitados são medidos por estações pluviométricas, os quais são representativos de uma região no entorno do equipamento e, consequentemente, se faz necessária a aplicação de técnicas de extrapolação para obtenção de dados em regiões não monitoradas. Entretanto, as técnicas clássicas são baseadas em interpolação matemática e não consideram a evidência física da ocorrência de precipitação. O sensoriamento remoto representa uma alternativa valiosa para modelagem hidrológica devido à sua ampla cobertura, e a partir de observações por satélites e radares meteorológicos é possível a estimativa quantitativa da precipitação. Neste sentido, o uso integrado de dados de estações pluviométricas e do sensoriamento remoto tem o potencial de melhorar a acurácia das simulações hidrológicas. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um modelo hidrológico na bacia do rio Iguaçu guando calibrado com um sistema integrado de estimativa de chuvas. O modelo utilizado foi MGB-IPH e a fonte de precipitação foi o Siprec, um sistema que fornece dados de precipitação com base em radares meteorológicos, estações pluviométricas e estimativa quantitativas de precipitação do produto Multi-sensor Precipitation Estimate (MPE) da EUMETSAT. Duas calibrações distintas foram executadas: a primeira, considerando apenas os dados de precipitação de estações telemétricas; a segunda, considerando a precipitação estimada pelo sistema integrado. A comparação entre os dados de chuva indicou que as estimativas do Siprec tendem a superestimar as precipitações, tanto em intensidade quanto em ocorrência, em uma região de superposição das observações dos radares Além disso, outras localidades meteorológicos. apresentam precipitações subestimadas, que compensam as diferenças acumuladas de precipitação à medida que as áreas de contribuição aumentam. Na simulação hidrológica, os resultados foram satisfatórios em 75,8% dos pontos utilizando dados apenas das estações pluviométricas contra 62,1% fazendo uso do Siprec, com as métricas de desempenho obtidas com os dados convencionais ainda superiores. Apesar disso, nenhuma das duas calibrações foi capaz de simular com eficiência as vazões do ano de 2020, caracterizado pela existência de baixas vazões devido à crise hídrica ocorrida.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. Sensoriamento Remoto. Estimativas de precipitação.

ABSTRACT

In rainfall-runoff modeling, the main input variable is precipitation, and the understanding of its temporal and spatial variation is the key for good hydrological simulation results. Conventionally, the precipitated volumes are measured by rain gauges, which are representative of its surroundings and, consequently, it is necessary to apply extrapolation techniques to obtain data in ungauged regions. However, classical techniques are based on mathematical interpolation and do not consider the physical evidence for the occurrence of precipitation. Remote sensing represents a valuable alternative to hydrological modeling due to its wide coverage, and from observations by meteorological satellites and radars, quantitative precipitation estimation is possible. In this sense, the integrated use of data from rain gauges and remote sensing has the potential to improve the accuracy of hydrological simulations. This paper aims to evaluate the performance of a hydrological model in the Iguacu River basin when calibrated with an integrated rainfall estimation system. The model used was the MGB-IPH and the source of precipitation was Siprec, a system that provides precipitation data based on weather radar, rain gauges and quantitative precipitation estimates from the EUMETSAT Multi-sensor Precipitation Estimate (MPE) product. Two different calibrations were performed: the first, considering only the precipitation data from rain gauges; the second, considering the precipitation estimated by the integrated system. The comparison between the rain datasets indicated that Siprec tends to overestimate the precipitation, both in intensity and in occurrence, in a region of overlapping observations of weather radars. In addition, other locations have underestimated rainfall, which compensates for the accumulated differences in rainfall as the contribution areas increase. In the hydrological simulation, the results were satisfactory in 75.8% of the points using only data from rainfall stations against 62.1% using Siprec, with better performance metrics obtained with conventional data. Despite this, neither of the two calibrations was able to efficiently simulate the flows for the year 2020, caracterized by the existence of low flows due to the water crisis that occurred.

Keywords: Hydrological modeling. Remote Sensing. Precipitation estimates.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EXEMPLOS DE DISCRETIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS 30
FIGURA 2 – DISCRETIZAÇÃO DA BACIA DO IGUAÇU À MONTANTE DO
RESERVATÓRIO DE FOZ DO AREIA EM SUB-BACIAS
FIGURA 3 - NÍVEIS DE SIMPLIFICAÇÃO DE MODELOS EM TERMOS DE
REPRESENTAÇÃO ESPACIAL E CÁLCULO DE VAZÃO
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HDROLÓGICA33
FIGURA 5 - OS DIVERSOS MÓDULOS QUE COMPÕEM UM MODELO
HIDROLÓGICO34
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO ERRO PRODUZIDO POR UM MODELO PARA
DUAS VARIÁVEIS Z1(t) e Z2(t)
FIGURA 7 - EXEMPLOS DE SUPERFÍCIES DE RESPOSTA DE FUNÇÕES
OBJETIVO DO TIPO MAXIMIZAÇÃO PARA UM MODELO
HIPOTÉTICO DE DOIS PARÂMETROS40
FIGURA 8 - A FRENTE DE PARETO EM UM MODELO HIPOTÉTICO DE DOIS
PARÂMETROS41
FIGURA 9 - O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO49
FIGURA 10 - ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UM RADIÔMETRO51
FIGURA 11 - PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UM SISTEMA RADAR53
FIGURA 12 - CARACTERÍSTICAS ORBITAIS55
FIGURA 13 - ÓRBITA POLAR E A ROTAÇÃO DA TERRA55
FIGURA 14 - COBERTURA DE UM SATÉLITE COM ÓRBITA INCLINADA
FIGURA 15 – ÁREAS COM COBERTURA HIDROMETEOROLÓGICA NO
TERRITÓRIO BRASILEIRO64
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E RADARES
METEOROLÓGICOS UTILIZADOS NO SIPREC65
FIGURA 17 - ACUMULADO MENSAL (mm) PARA O MÊS DE JUNHO DE 2014 66
FIGURA 18 - ETAPAS METODOLÓGICAS DESTE TRABALHO69
FIGURA 19 - A BACIA DO RIO IGUAÇU
FIGURA 20 - ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS
FIGURA 21 - ESTAÇÕES VIRTUAIS SELECIONADAS
FIGURA 22 - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS SELECIONADAS
FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS 75

FIGURA 24 – QUADROS STRM UTILIZADOS PARA A BACIA DO RIO IGUA	ÇU76
FIGURA 25 – COMBINAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE TIPO DO SOLO E US	O DO
SOLO PARA GERAÇÃO DE URHS	77
FIGURA 26 - UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO	
IGUAÇU	78
FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DA DISCRETIZAÇÃO DA MINIBACIA EM U	IRH 79
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO DO	
MODELO MGB-IPH PARA UMA UNIDADE DE RESPOSTA	
HIDROLÓGICA	80
FIGURA 29 - EFEITO DO PARÂMETRO "b" NA RELAÇÃO ENTRE O	
ARMAZENAMENTO NA CAMADA SUPERFICIAL E A	
PORCENTAGEM DE ÁREA SATURADA	84
FIGURA 30 - ESQUEMA DA GERAÇÃO DE VAZÕES E PROPAGAÇÕES NO	
MODELO MGB-IPH	89
FIGURA 31 - PRINCIPAIS PLANOS DE INFORMAÇÕES OBTIDOS EM AMBI	ENTE
SIG PARA A DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL DA BACIA	
HIDROGRÁFICA	92
FIGURA 32 - CORREÇÕES DAS IMPERFEIÇÕES DO MODELO DIGITAL DE	
ELEVAÇÃO	93
FIGURA 33 - PROCESSAMENTO DAS DIREÇÕES DE FLUXO	94
FIGURA 34 - PROCEDIMENTO DE ACUMULAÇÃO DE FLUXO	95
FIGURA 35 – DEFINIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM A PARTIR DE LIMIARE	ES DE
1, 3 E 8 CÉLULAS ACUMULADAS	96
FIGURA 36 - SEGMENTAÇÃO DOS TRECHOS DE DRENAGEM	97
FIGURA 37 - DELIMITAÇÃO DAS MINIBACIAS	97
FIGURA 38 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇA	ÃO
DOS MODELOS	106
FIGURA 39 - ÁBACO PARA CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	108
FIGURA 40 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	110
FIGURA 41 - DADOS ESPÚRIOS DA ESTAÇÃO FAZENDINHA (02549017)	113
FIGURA 42 – CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA ESTAÇÃO FAZENDINHA	
(02549017)	113
FIGURA 43 - DADOS ESPÚRIOS DA ESTAÇÃO DE FOZ DO AREIA (026510	55)
	114

FIGURA 44 - CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA ESTAÇÃO DE FOZ DO AREIA
(02651055)114
FIGURA 45 - CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA ESTAÇÃO DE SANTA CRUZ DO
TIMBÓ (65295001)115
FIGURA 46 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS E SUA ESPACIALIZAÇÃO118
FIGURA 47 - CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN PARA O BRASIL
FIGURA 48 - DISCRETIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA
FIGURA 49 - A DISCRETIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IGUAÇU EM 29 SUB-BACIAS
FIGURA 50 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS
(1998 – 2020)
FIGURA 51 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS
(2017 – 2020)
FIGURA 52 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL PELO SIPREC (2017 – 2020) 126
FIGURA 53 - DIFERENÇA ENTRE A INTERPOLAÇÃO DAS ESTAÇÕES
PLUVIOMÉTRICAS E PELO SIPREC (2017 – 2020)
FIGURA 54 - DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA ANUAL E
COBERTURA DOS RADARES METEOROLÓGICOS
FIGURA 55 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PORTO
SANTO ANTÔNIO130
FIGURA 56 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PORTO
CAPANEMA
FIGURA 57 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM JANGADA . 133
FIGURA 58 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM VAU DOS
RIBEIROS135
FIGURA 59 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PALMITAL DO
MEIO137
FIGURA 60 – DISPERSÃO DO NÚMERO DE DIAS COM CHUVA E DIFERENÇA
ENTRE OS ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO ENTRE 2017 E
2020138
FIGURA 61 – COMPARAÇÃO DOS HIETOGRAMAS EM PCH CAVERNOSO II E
VAU DOS RIBEIROS ENTRE DEZEMBRO DE 2018 E ABRIL DE
2018

FIGURA 62 - DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR ÁREA DE	
CONTRIBUIÇÃO (2017 – 2020)	140
FIGURA 63 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA O MODELC	01142
FIGURA 64 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM RIO NEGR	0
(65100000)	143
FIGURA 65 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM JANGADA	
(65370000)	144
FIGURA 66 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM PONTILHÃ	0
(65208001)	144
FIGURA 67 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM PORTO	
CAPANEMA (65987000)	145
FIGURA 68 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM HOTEL	
CATARATAS (65992500)	145
FIGURA 69 - DESEMPENHO DO MODELO I AO LONGO DA BACIA DO RIO	
IGUAÇU	146
FIGURA 70 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA O MODELO)
	148
FIGURA 71 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO II EM PORTO	
SANTO ANTÔNIO (65970001)	149
FIGURA 72 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO II EM PCH	
CAVERNOSO II (65855080)	149
FIGURA 73 - HIDROGRAMAS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO II EM PORTO	
SANTO ANTÔNIO (65970001)	150
FIGURA 74 - ANÁLISE DISTRIBUÍDA DA PRECIPITAÇÃO EM PORTO SANTO	C
ANTÔNIO E VAZÕES OBSERVADAS E SIMULADAS DE 2017	4
2019	151
FIGURA 75 - ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO EM DOIS PONTOS	-
I OCALIZADOS NA SUB-BACIA DE PORTO SANTO ANTÔNIO	152
FIGURA 76 - HIDROGRAMAS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO II EM PCH	
CAVERNOSO II (65855080)	153
FIGURA 77 - ANÁLISE DISTRIBUÍDA DA PRECIPITAÇÃO EM PCH CAVERNO	SSO
FIGURA 77 - ANÁLISE DISTRIBUÍDA DA PRECIPITAÇÃO EM PCH CAVERNO	153 DSO

FIGURA 78 - HIDROGRAMAS SIMULADOS PELO MODELO II EM JANGADA
(65370000) NO PERÍODO DE 2017 A 2019, COM INDICAÇÃO DA
VAZÃO SIMULADA DO MODELO I
FIGURA 79 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO II EM RIO NEGRO
(65100001)
FIGURA 80 - DESEMPENHO DO MODELO II AO LONGO DA BACIA DO RIO
IGUAÇU156
FIGURA 81 - PRECIPITAÇÕES ACUMULADAS E DIFERENÇAS RELATIVAS (MM)
EM 2020159
FIGURA 82 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020
CONSIDERANDO O NSE161
FIGURA 83 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020
CONSIDERANDO O NSElog162
FIGURA 84 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020
CONSIDERANDO O BIAS162
FIGURA 85 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O
NSE
FIGURA 86 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O
NSElog
FIGURA 87 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O
BIAS167
FIGURA 88 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO (2017 – 2020)

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - RELAÇÃO ENTRE LARGURA DO RIO E ÁREA DE DRENAGEM	
PARA A BACIA O RIO IGUAÇU11	16
GRÁFICO 2 - RELAÇÃO ENTRE PROFUNDIDADE DO RIO E ÁREA DE	
DRENAGEM PARA A BACIA O RIO IGUAÇU 11	16
GRÁFICO 3 - NÚMERO DE MINIBACIAS GERADAS AGRUPADAS EM CLASSES	
DE ÁREAS DE DRENAGEM12	23
GRÁFICO 4 - DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA	•
202015	58
GRÁFICO 5 - DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA	١
2017 - 2020	34

LISTA DE QUADROS

IADRO 1 - PRINCIPAIS FUNÇÕES OBJETIVO UTILIZADAS EM MODELAGEM
HIDROLÓGICA38
IADRO 2 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO EM
MICRO-ONDAS
IADRO 3 - FERRAMENTAS DISPONÍVEIS NO IPH-HYDRO TOOLS, COM SUAS
DESCRIÇÕES92
IADRO 4 - INFORMAÇÕES NO ARQUIVO MINI.GTP
IADRO 5 - PARÂMETROS CALIBRÁVEIS DO MODELO MGB-IPH104

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLOS DE MODELOS DA FAMÍLIA GR	45
TABELA 2 – PRINCIPAIS FAIXAS UTILIZADAS NA ESTIMATIVA DE	
PRECIPITAÇÃO	48
TABELA 3 - RESUMO DE ALGUNS PRODUTOS DE ESTIMATIVA DE	
PRECIPITAÇÕES	61
TABELA 4 – ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS	75
TABELA 5 - VALORES TÍPICOS DE IAF (m ² .m ⁻²)	102
TABELA 6 - VALORES TÍPICOS DE ALBEDO	102
TABELA 7 - VALORES TÍPICOS DA ALTURA MÉDIA DO DOSSEL (m)	102
TABELA 8 - VALORES DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL CONSIDERANDO	
CONDIÇÕES NORMAIS DE UMIDADE DO SOLO (s/m)	103
TABELA 9 - PARÂMETROS INICIAIS DO MODELO	107
TABELA 10 - MÉTRICAS E PERÍODOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	107
TABELA 11 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO A PARTIR DOS VALORES DAS	
MÉTRICAS	108
TABELA 12 - DISTRIBUIÇÃO DE MINIBACIAS GERADAS, AGRUPADAS EM	
CLASSES DE ÁREAS DE DRENAGEM	123
TABELA 13 - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO I	141
TABELA 14 - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO II	147
TABELA 15 – MÉTRICAS DE DESEMPENHO DAS SIMULAÇÕES DE VAZÃO I	DO
ANO DE 2020	157
TABELA 16 - VAZÕES Q95 E Q50 EM 2020 E RESPECTIVAS EXCEDÊNCIAS	NO
PERÍODO DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS	160
TABELA 17 - MÉTRICAS DE DESEMPENHO DAS SIMULAÇÕES DE VAZÃO (2017
– 2020)	163

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ADCP	- Acoustic Doppler Current Profiler
ANA	- Agência Nacional de Águas
BIAS	- Erro de Volume
CAI	- Climatologically Aided Interpolation
CCS	- Cloud Classification System
CDR	- Climate Data Record
CGIAR	- Consultative Group on International Agricultural Research
СНС	- Climatological Hazard Centre
CHIRPS	- Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations
CMORPH	- Climate Prediction Center Morphing Technique
Copel	- Companhia Paranaense de Energia
CPC	- Climatological Prediction Centre
CPR	- Cloud Profiling Radar
CPTEC	 Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climatológicos
DHI	- Danish Hydraulic Institute
DPR	- Dual-frequency Precipitation Radar
EUMETSAT	- European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
GEWEX	- Global Energy and Water Exchange
GLUE	- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
GPCP	- Global Precipitation Climatology Project
GPM	- Global Precipitation Measurement
G-WAGI	- Global Network on Water and Development Information for Arid Lands
HBV	- Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning
HGE	- Hidrologia de Grande Escala
HRXX	- Hydrological Reanalysis Across the 20th Century
IMERG	- Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPH	- Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IR	- Faixa do espectro infravermelho
JAXA	- Japan Aerospace Exploration Agency
JRC	- Joint Research Centre

MDE	- Modelo Digital de Elevação
MGB-IPH	- Modelo de Grandes Bacias
MHS	- Modified Euristic Search
MOCOM-UA	- Multiple-Objective Complex Evolution
MPE	- Multi-sensor Precipitation Estimate
MVIRI	- Meteosat Visible and Infrared Imager
MW	- Faixa do espectro micro-ondas
NASA	- National Aeronautics and Space Aministration
NetCDF	- Network Common Data Form
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
NSE	- Coeficiente de Nash-Sutcliffe
NSElog	- Coeficiente de Nash-Sutcliffe logarítmico
ONS	- Operador Nacional do Sistema
PERSIANN	- Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using
Artifici	al Neural Networks
PFS	- Priority First Search
POES	- Polar Operational Environmental Satellites
PR	- Precipitation Radar
QGIS	- QuantumGIS
RHN	- Rede Hidrometeorológica Nacional
RMSE	- Raiz do Erro Médio Quadrático
SCE-UA	- Shuffled Complex Evolution
SEVIRI	- Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
SHE	- Système Hydrologique Européen
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
Simepar	- Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
SIN	- Sistema Interligado Nacional
Siprec	- Sistema Integrado de Estimativa de Chuvas
SISPSHI	- Sistema de Previsão e Simulação Hidrológica
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
SSM/I	- Special Sensor Microwave/Imager
SWAT	- Soil and Water Assesment Tool
TMPA	- TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis

TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESCO	- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
URH	- Unidade de Resposta Hidrológica
USGS	- United States Geological Survey
UV	- Faixa do espectro Ultravioleta
VIS	- Faixa do espectro Visível
WCRP	- World Climate Research Program
WMO	- World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
1.1 JUSTIFICATIVA	25
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos	26
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	26
2 REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1 MODELAGEM HIDROLÓGICA	27
2.1.1 Principais componentes dos modelos hidrológicos	33
2.1.2 Calibração de modelos hidrológicos	37
2.1.3 Exemplos de modelos hidrológicos	43
2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E A ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO	47
2.2.1 Princípios do Sensoriamento Remoto	48
2.2.2 A estimativa de precipitações a partir de sensores espaciais e terrestres	57
2.2.3 O Sistema Integrado de Estimativas de Chuvas (Siprec)	63
3 MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	68
3.2 ÁREA DE ESTUDO	70
3.3 FONTE DE DADOS	71
3.3.1 Dados pluviométricos	72
3.3.2 Dados fluviométricos	73
3.3.3 Dados climáticos	74
3.3.4 Dados de informações espaciais	75
3.4 O MODELO DE GRANDES BACIAS (MGB-IPH)	78
3.4.1 Processos hidrológicos verticais	80
3.4.2 Processos hidrológicos horizontais	86
3.4.3 Propagação de vazões na rede de drenagem	88
3.5 PROCESSAMENTO DA BACIA NO IPH-HYDRO TOOLS	91
3.5.1 Sink and Destroy	93
3.5.2 Flow Accumulation	95
3.5.3 Stream Definition	95
3.5.4 Segmentation Tools	96

3.5.5 Watershed Delineation e Unit-Catchment Delineation	97
3.5.6 Ferramentas de utilidade	98
3.5.7 MGB Tools	98
3.6 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	100
3.7 PARÂMETROS INICIAIS DO MODELO	101
3.7.1 Parâmetros fixos	101
3.7.2 Parâmetros calibráveis	104
3.8 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO	106
3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS	109
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	110
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	110
4.2 LEVANTAMENTO E CONSISTÊNCIA DOS DADOS	113
4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO NO IPH-HYDRO TOOLS	121
4.4 AVALIAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS	124
4.5 RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	140
4.6 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO	157
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	168
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
ANEXO 1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS	187
ANEXO 2 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	189
ANEXO 3 – PARÂMETROS DO MODELO	199
ANEXO 4 – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS	216
ANEXO 5 – ESTATÍSTICAS DA INTERPOLAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	218
ANEXO 6 – HIDROGRAMAS COMPARATIVOS 2020	258
ANEXO 7 – HIDROGRAMAS COMPARATIVOS 2017 - 2020	264

1 INTRODUÇÃO

Um modelo hidrológico é uma importante ferramenta para o estudo dos processos que integram o ciclo da água, além de ser útil para a gestão de recursos hídricos – uma vez que os resultados da modelagem fornecem informações essenciais sobre a quantidade de água disponível nos ecossistemas –, bem como para o entendimento dos efeitos causados pelas atividades antrópicas e mudanças climáticas na hidrologia.

A precipitação é a principal variável de entrada dos modelos chuva-vazão, cuja qualidade do dado exerce grande influência na acurácia dos resultados da modelagem. Neste sentido, compreender as variações espaciais e temporais da precipitação é fundamental.

Tradicionalmente, os volumes precipitados são medidos por estações pluviométricas espalhadas na superfície terrestre, representativas de uma área ao entorno do equipamento. No entanto, devido às limitações das condições econômicas ou topográficas, o monitoramento de regiões mais remotas é feito com uma reduzida densidade ou ainda não executado.

Uma maneira que permite obter informações hidrológicas é a regionalização que, de acordo com Fill (1987)¹ citado por Baena *et al.* (2004), pode ser entendida, de forma ampla, como qualquer processo de transferência de informações das estações existentes para locais sem observações. No contexto da regionalização de precipitação, a interpolação espacial é uma técnica muito aplicada e dentre os métodos utilizados estão a média aritmética, os polígonos de Thiessen, as isoietas e o inverso do quadrado da distância.

Entretanto, essas práticas não consideram qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação ocorrida ou mesmo o efeito da topografia na formação das chuvas e, além disso, representam a variabilidade espacial como uma função matemática contínua. Esse último aspecto é muitas vezes resolvido por meio da krigagem, que explora aspectos estocásticos da precipitação para representação da sua variação espacial (CONTI, 2002; COLLISCHONN, 2006; GUO *et al.*, 2020).

¹ FILL, H.H. Informações hidrológicas. In: BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; FILL, H.D.; TUCCI, C.E.M.; KELMAN, J.; BRAGA JÚNIOR, B.P.F. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987. p. 95-210 (Coleção ABRH).

Ainda assim, precipitações pontuais mais intensas não são identificadas pela interpolação, a não ser que uma estação esteja instalada exatamente na localização de ocorrência desses eventos. Nesse sentido, o sensoriamento remoto pode fornecer uma contribuição valiosa para o preenchimento dessa lacuna devido à sua ampla cobertura. A partir de técnicas que relacionam a resposta espectral de gotículas de chuva e das características de nuvens, as informações de satélites e radares podem ser utilizadas para a estimativa quantitativa da precipitação em regiões onde há falta de medição convencional.

Nas últimas décadas, diversos conjuntos de dados globais de precipitação foram desenvolvidos (HSU et al., 1997; HUFFMAN et al., 1997; JOYCE et al., 2004; HUFFMAN et al., 2007; BOLVIN et al., 2018), que utilizam diferentes fontes de dados de constelações de satélites, alguns deles incluindo estimativas de radares meteorológicos. Estes produtos têm sido intensivamente aplicados no desenvolvimento de pesquisas (JIANG; WANG, 2019), mas a maioria dos estudos demonstram a sua capacidade limitada (quando utilizadas de forma bruta, sem reanálise) como forçante de modelos hidrológicos em comparação com as observações tradicionais.

Neste contexto, a integração de dados de satélites, radares meteorológicos e estações pluviométricas busca uma melhor representação da espacialização da chuva, para que assim as simulações e previsões hidrológicas apresentem menores erros. Pan, Li e Wood (2010), por exemplo, observaram que a utilização de dados de estações pluviométricas para correção dos produtos do sensoriamento remoto melhorou a qualidade da modelagem hidrológica. Além disso, outros trabalhos concluem que a utilização integrada de produtos de sensoriamento remoto e dados de estações pluviométricas resultam em melhor acurácia na modelagem quando comparados com modelos que utilizam apenas pluviômetros (ERCAN; GOODALL, 2013; LOOPER; VIEUX, 2013).

Além dos dados de precipitação e outras variáveis atmosféricas, diversos produtos do sensoriamento remoto também são utilizados na modelagem hidrológica, especialmente em modelos de base física cuja representação espacial do sistema seja relevante. Atualmente, informações sobre a topografia, o tipo do solo, a cobertura do solo, dentre outras, estão acessíveis em formato digital e podem ser manipuladas com o auxílio de ferramentas Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Segundo Singh e Fiorentino (1996), tais ferramentas são essenciais para suprir as

necessidades de gerenciamento e processamento de dados existentes em modelos hidrológicos distribuídos, principalmente em aplicações grandes bacias.

O Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) é um modelo brasileiro desenvolvido por Collischonn (2001) para aplicações em bacias acima de 10.000 km². Ao longo dos anos, o modelo tem passado por modificações que visam seu aprimoramento, por exemplo, o acoplamento de um método de assimilação de dados para previsão hidrológica (COLLISCHONN et al., 2007; PAZ et al., 2007), a integração de um modelo de simulação hidrodinâmica (PAIVA, 2009), a integração com SIG (FAN; COLLISCHONN, 2014), a integração de um módulo hidrossedimentológico (BUARQUE, 2015) e o acoplamento de um sistema de previsão hidrológica por conjunto (SIQUEIRA, 2015).

Recentemente, produtos de precipitação foram testados e comparados em simulações no MGB-IPH. Jiménez (2011), por exemplo, comparou o TMPA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*) e o CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) em bacias hidrográficas na Região Amazônica, concluindo que os produtos se comportavam de forma diferente dependendo da aplicação, mas que um melhor desempenho poderia ser obtido quando os produtos são combinados com dados da rede pluviométrica. Mais tarde, Jiménez (2017) desenvolveu um método de integração de dados de satélite e de pluviômetros para previsão hidrológica, obtendo resultados satisfatórios e recomendando o uso de radares meteorológicos como fonte de informação para validação de produtos de estimativa de precipitação. Gomes (2018) utilizou diferentes algoritmos para a estimativa de chuva a partir de observações de radares meteorológicos na modelagem de eventos extremos. Seus resultados demonstram que, isoladamente, alguns deles não foram capazes de representar os eventos analisados, refletindo a importância do uso conjunto de dados de satélites, radares e pluviômetros na calibração.

Neste sentido, existe uma oportunidade para a avaliação do desempenho do MGB-IPH com uso de produtos de estimativas de precipitação que integrem as informações de radares meteorológicos. Um produto que atende a essa necessidade é o Siprec (Sistema Integrado de Estimativa de Chuvas) desenvolvido por Calvetti *et al.* (2017) no Simepar (Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná). Dessa forma, o presente trabalho se propõe a avaliar o desempenho do Siprec na modelagem chuva-vazão num estudo de caso na bacia do Rio Iguaçu.

1.1 JUSTIFICATIVA

As justificativas desta dissertação são as seguintes:

- Os produtos de estimativa de precipitação são fontes de informações importantes para o entendimento da distribuição espacial e temporal das chuvas, principalmente em regiões que careçam de cobertura de monitoramento. Além disso, a tendência é que estes produtos sejam aprimorados continuamente no futuro e seu uso seja ainda mais difundido.
- Os trabalhos desenvolvidos com estimativa de precipitação do sensoriamento remoto aplicados na calibração de modelos chuva-vazão têm foco na comparação entre o desempenho de produtos, geralmente considerando a rede pluviométrica. Os radares meteorológicos, por sua vez, são uma alternativa para refinamento desses produtos, e que ainda não foram muito explorados no modelo MGB-IPH.
- A bacia do rio Iguaçu dispõe de uma grande cobertura de monitoramento, seja pela rede de monitoramento hidrométrico ou por radares meteorológicos. Ela é objeto de estudo em diversos trabalhos acadêmicos, estando assim bastante documentada. O aperfeiçoamento da modelagem hidrológica do rio Iguaçu é interessante tanto para fins de aproveitamento hidrelétrico, quanto para Defesa Civil em eventos extremos, uma vez que os resultados desse trabalho podem ser operacionalizados para fins de previsão hidrológica.

A hipótese deste trabalho é que os resultados das simulações chuva-vazão de um modelo hidrológico utilizando um produto de integração de dados do sensoriamento remoto (satélites e radares meteorológicos) e rede de estações pluviométricas sejam equivalentes ou melhores do que um modelo utilizando dados apenas de pluviômetros.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de um modelo hidrológico de grandes bacias utilizando um sistema integrado de estimativa de precipitações que combina dados de estações pluviométricas, de satélites e de radares meteorológicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar as estimativas de chuva do sistema integrado sobre a bacia do Rio Iguaçu com a interpolação convencional de dados de estações pluviométricas.
- Executar o processamento de dados de característica físicas da bacia do Rio Iguaçu utilizando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a discretização da área de estudo e posterior utilização no modelo hidrológico MGB-IPH.
- Calcular as vazões simuladas pelo modelo hidrológico com as duas fontes de dados de precipitação e compará-las com as vazões observadas com base em métricas de desempenho.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

No presente capítulo, foram apresentados uma breve introdução ao tema, as justificativas, os objetivos gerais e específicos, e a hipótese do trabalho. No próximo capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos temas modelagem hidrológica e sensoriamento remoto. O capítulo 3 apresenta a seção de metodologia e dados utilizados, incluindo a apresentação do modelo MGB-IPH. No capítulo 4 estão os resultados do trabalho, incluindo o levantamento de trabalhos de temática semelhante, avaliação dos dados de entrada do modelo, resultado da modelagem, dentre outros. Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura e será dividido em duas partes. A primeira terá foco na modelagem hidrológica, apresentando as principais características e classificações de modelos hidrológicos, além de discorrer sobre alguns modelos existentes, dentre eles o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH). A segunda parte trata da estimativa de precipitação por meio do Sensoriamento Remoto, abordando aspectos de sistemas sensores e traz exemplos de diversos produtos, dentre eles o Sistema Integrado de Estimativa de Precipitação (Siprec).

2.1 MODELAGEM HIDROLÓGICA

Segundo Beven (2012), existem diversos motivos pelos quais é necessário modelar o processo chuva-vazão, sendo o principal deles as limitações existentes nas técnicas de medições das grandezas hidrológicas. Por exemplo, a medição de vazão durante eventos extremos por métodos como molinete ou com uso de ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) é limitada por motivos de segurança. Além disso, como destacado por Jaiswal, Ali e Bharti (2020), há um desafio econômico devido aos custos de operação e manutenção de redes de monitoramento, o que dificulta, por exemplo, a obtenção de dados de vazão em pequenos rios e bacias hidrográficas.

A partir das medições disponíveis e diante da necessidade de extrapolação no tempo e no espaço, principalmente em regiões com escassez ou nenhum dado, modelos hidrológicos dos mais variados tipos têm fornecido maneiras de quantificar e até mesmo predizer o comportamento hidrológico em áreas de interesse, fornecendo informações úteis para a tomada de decisões.

A classificação tradicional dos modelos hidrológicos geralmente ocorre de acordo com o tipo das variáveis utilizadas (estocásticos ou determinísticos), a lógica e a natureza das expressões matemáticas que definem a relação entre as entradas e saídas do modelo (físicos, empíricos ou conceituais), a existência de dependência temporal (estacionários ou não-estacionários), a forma como os períodos de simulação são considerados (baseado em eventos ou contínuos), e a maneira em que o meio físico é representado (concentrados ou distribuídos) (MOREIRA, 2005; HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015).

Um modelo determinístico é aquele cuja relação entre as entradas e as saídas é unívoca, ou seja, para um determinado conjunto de entradas existe apenas um conjunto de saída, mesmo quando uma variável de entrada tenha caráter aleatório. Por outro lado, um modelo estocástico considera a probabilidade de ocorrência das variáveis, pois assumem que os processos simulados são resultados da combinação de diversos fatores aleatórios e, por isso, a relação entre as entradas e saídas não é sempre a mesma (MOREIRA, 2005; HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015). Para Beven (2012), uma diferenciação prática é que se as variáveis de saída do modelo estiverem associadas à alguma medida de dispersão (permitindo alguma aleatoriedade ou incerteza nos resultados), o modelo pode ser considerado estocástico.

As diferentes abordagens utilizadas na representação dos processos resultam na diferenciação entre modelos empíricos, conceituais e físicos.

Os modelos empíricos, também chamados de modelos métricos (BECK, 1991), são baseados em relações matemáticas a partir de dados observados do sistema a ser modelado e, portanto, podem não apresentar bons resultados quando aplicados fora do intervalo de dados a partir do qual foram derivados. Além disso, não são construídos para explicar as características do fenômeno hidrológico, uma vez que o sistema é considerado uma "caixa preta" (KOKKONEN; JAKEMAN, 2001; SIVAKUMAR, 2017; JAISWAL; ALI; BHARTI, 2020).

Os modelos conceituais geralmente consideram leis físicas, mas de forma simplificada, com objetivo de representar razoavelmente os principais processos hidrológicos. A representação das bacias hidrológicas é feita baseada em uma série de compartimentos interconectados que, via recarga e depleção dos mesmos, retratam os fenômenos envolvidos (HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015; SIVAKUMAR, 2017; JAISWAL; ALI; BHARTI, 2020). Um inventário de modelos conceituais é apresentado em Perrin (2000).

Os modelos físicos são, de maneira geral, uma representação razoavelmente realista do sistema modelado, pois envolvem a consideração das principais equações diferenciais do sistema físico. Pelo acoplamento de diferentes submodelos, cada um dedicado a um determinado processo hidrológico, os modelos físicos descrevem o sistema de interesse a partir de uma parametrização com significância física (RENNÓ; SOARES, 2003; SIVAKUMAR, 2017).

A diferença entre modelos estacionários e não-estacionários está na sua parametrização. Quando as variáveis envolvidas no modelo se modificam no tempo,

o modelo é não-estacionário; caso contrário, ele é estacionário. Toledo, Muñoz e Zambrano-Bigiarini (2015) abordaram esses dois tipos de modelo na tentativa de representar a influência da variabilidade climática nos processos hidrológicos.

Os modelos baseados em eventos são utilizados para simular eventos hidrológicos específicos, como por exemplo uma chuva intensa que ocasionou inundação em alguma localidade. Este tipo de modelo requer estimativas das condições iniciais para cada evento considerado. Por outro lado, modelos contínuos cobrem uma variedade de situações hidrometeorológicas por serem utilizados para simular continuamente o comportamento hidrológico da bacia. Também demandam estimativas de condições iniciais, porém não influenciam os resultados esperados após certo tempo, pois a característica dos modelos contínuos é a redistribuição da umidade entre os eventos (HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015; DOS SANTOS, 2018).

Finalmente, os modelos concentrados e os modelos distribuídos diferem pela forma como representam as heterogeneidades espaciais das variáveis de entrada (WIGMOSTA; PRASAD, 2005). Os modelos concentrados tratam o sistema como uma única unidade, não considerando variabilidade espacial ou, ainda, incorporando o efeito da variabilidade espacial em seus parâmetros. Em contrapartida, os modelos distribuídos tentam explicar a variabilidade espacial subdividindo a bacia hidrográfica em um número de elementos menores e, dessa maneira, simulam a evolução do sistema em diversos pontos dessa discretização e, dependendo do modelo, representar inclusive a troca de água entre esses elementos (HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015). Modelos semi-distribuídos geralmente são associados aos modelos onde a bacia hidrográfica é dividida em elementos que assumem uniformidade espacial em suas características (MELONE et al. (2005)² apud DOS SANTOS, 2018), ou seja, cada um dos elementos pode ser representado por um modelo conceitual (BEVEN, 2012).

Existem diversas formas de discretização espacial dos modelos distribuídos (FIGURA 1 e FIGURA 2). Por exemplo, a bacia hidrográfica pode ser dividida com base na topografia devido sua influência determinante na drenagem superficial e, assim, o modelo pode ser constituído em uma estrutura hierárquica de planos

² MELONE, F.; BARBETTA, S.; DIOMEDE, T.; PERUCCACCI, S.; ROSSI, M.; TESSAROLO, A.; VERDECCHIA, M. Review and selection of hydrological models – integration of hydrological models and meteorological inputs. RISK AWARE: RISK-Advanced Weather forecast system to Advise on Risk Events and management, Gennaio, 2005.

inclinados e elementos de drenagem, ou ainda pode ser discretizado a partir da delimitação de sub-bacias. Outra maneira comum de representação é a forma gradeada dos elementos da bacia, uma vez que produtos do Sensoriamento Remoto como o Modelo Digital de Elevação (MDE) possuem este formato característico.

FIGURA 1 - EXEMPLOS DE DISCRETIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

(a) Gradeamento ou "grid"





(b) Planos inclinados

FONTE: Adaptado de Hingray, Picouet e Musy (2015)

A FIGURA 2 ilustra uma discretização de uma bacia hidrográfica em subbacias. A bacia do rio Iguaçu a montante do reservatório de Foz do Areia, que possui uma área de drenagem de aproximadamente 30.100 km², pode ser discretizada, por exemplo, em 17 sub-bacias, as quais são representadas por 29 elementos para modelagem. A estrutura do modelo pode ser entendida por dois tipos de elementos: os que transformam precipitação em vazão, transferindo o escoamento para o próximo elemento; e os elementos que propagam a vazão do elemento anterior até seu ponto de saída que, incrementadas com a transformação chuva-vazão do próprio elemento, são transferidos para o elemento seguinte. Esse tipo de discretização é baseada na topografia e definida pelos pontos onde dados são disponíveis, tanto para calibração quanto para a validação do modelo.

Segundo Hingray, Picouet e Musy (2015), um ponto importante da modelagem hidrológica é o nível de complexidade do modelo utilizado, que varia conforme a necessidade. A complexidade utilizada para descrever os diferentes processos existentes no sistema deve ser compatível tanto com a complexidade utilizada para a representação espacial das bacias, quanto com os dados disponíveis para utilização no modelo e a acurácia desejada, por exemplo.

FIGURA 2 – DISCRETIZAÇÃO DA BACIA DO IGUAÇU À MONTANTE DO RESERVATÓRIO DE FOZ DO AREIA EM SUB-BACIAS



(a) Discretização por sub-bacia

FONTE: O Autor (2021)

A FIGURA 3 ilustra diversos níveis de simplificação que podem ser utilizados na representação de bacia hidrográfica e no cálculo da vazão na seção exutória. Além disso, o nível de complexidade dos modelos também depende das escalas do tempo utilizadas. Segundo Moreira (2005), um modelo pode ser detalhado a ponto de simular processos de pequena escala (estômato, folhas, planta) considerando intervalos de tempo reduzidos (minutos e horas), mas também pode ser mais genérico, capaz de produzir resultados para regiões menos detalhadas (dossel, comunidade, região) com o uso de intervalos de tempo maiores (dias, meses, anos). O autor também sugere que existe a possibilidade de, em um mesmo modelo, as simulações e os resultados poderem considerar intervalos de tempos distintos, o que também contribui com o nível de complexidade do modelo.

FIGURA 3 - NÍVEIS DE SIMPLIFICAÇÃO DE MODELOS EM TERMOS DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL E CÁLCULO DE VAZÃO



Equações de Saint-Venant

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ S_0 - S_f = \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g}V\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t} - (k-1)\frac{q}{g}\frac{V}{A} \end{cases}$$

Modelo de onda cinemática

$$\int \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A(h) \cdot R_H(h)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S_0}$$

Modelo de reservatório

$$\frac{\mathrm{d} S(t)}{\mathrm{d}t} = I(t) - Q(t)$$
$$Q(t) = S(t) / K$$

Equação empírica

$$Q(t) = f(A,i,...)$$

FONTE: Adaptado de Hingray, Picouet e Musy (2015)

Uma outra maneira de representação é a divisão da bacia hidrográfica em elementos que possuam o mesmo comportamento hidrológico, conhecidos como Unidades de Resposta Hidrológica (URHs). As URHs são basicamente um agrupamento de diferentes informações espaciais, como tipos de solo, cobertura do solo, geologia, declividade, entre outros (PONTES, 2016). Segundo Fan *et al.* (2015), esta técnica reduz o número de parâmetros do modelo e, assim, a sua complexidade, uma vez que a parametrização é feita por URH e não por célula do modelo. Atualmente, com a vantagem da disponibilidade de dados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a criação de URHs a partir da sobreposição de mapas de outras características da bacia se tornou muito comum (BEVEN, 2012).



FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HDROLÓGICA

FONTE: Adaptado de Pontes (2016)

2.1.1 Principais componentes dos modelos hidrológicos

Segundo Hingray, Picouet e Musy (2015), os modelos hidrológicos, quando desenvolvidos para simular o comportamento de um sistema complexo, combinam diferentes módulos, que podem ser interdependentes ou não. Dependendo do modelo hidrológico, alguns processos podem não ser considerados ou podem ser considerados de uma maneira extremamente simplificada. A FIGURA 5 apresenta os principais componentes de um modelo hidrológico.

O primeiro módulo é o responsável em transformar os dados meteorológicos disponíveis em entradas para a simulação do modelo, a partir de combinação dos

dados e de técnicas de espacialização, estimando para cada elemento de discretização espacial suas respectivas variáveis de entrada.

O segundo módulo determina a distribuição da água na interface solovegetação-atmosfera por meio dos processos que compõem o ciclo hidrológico, como a interceptação pela vegetação, o armazenamento em depressões, a evapotranspiração e a infiltração, e pode ser associado com a estimativa da parcela da precipitação que efetivamente contribuirá para o escoamento superficial.

O terceiro módulo tem como objetivo o cálculo da vazão na seção exutória da bacia que, além de incluir a transformação da precipitação efetiva em escoamento superficial, pode considerar os processos relacionados aos escoamentos subsuperficial e de base.

Finalmente, a propagação da vazão ao longo dos corpos hídricos, bem como o efeito de reservatórios e de outras estruturas hidráulicas são executados em um outro módulo.



FIGURA 5 - OS DIVERSOS MÓDULOS QUE COMPÕEM UM MODELO HIDROLÓGICO

FONTE: Adaptado de Hingray, Picouet e Musy (2015)

Hingray, Picouet e Musy (2015) também afirmam que um modelo hidrológico (M) pode ser definido formalmente pela Eq. (1):

$$Z_{obs}(t) = \underbrace{M[\mathbf{X}(t), \mathbf{Y}(t), \mathbf{CC}(t), \boldsymbol{\theta}(t)]}_{Z_{sim}(t)} + \varepsilon_Z(t, \boldsymbol{\theta}(t))$$
(1)

sendo: $Z_{obs}(t)$ é o valor observado no tempo *t* para o qual o modelo é utilizado para simulação; X(t), Y(t) e CC(t) são as variáveis de entrada, as variáveis de estado e as condições de contorno no tempo *t*, respectivamente; $\theta(t)$ são os parâmetros do modelo e $\varepsilon(t, \theta(t))$ são os erros da modelagem ou, em outras palavras, a diferença entre os valores observados e simulados $Z_{sim}(t)$.

A estrutura do modelo M reflete a representação do sistema hidrológico de duas maneiras:

- a) a representação física do sistema, incluindo tanto aspectos como a geologia, os tipos de solo e sua cobertura, quanto a descrição da sua geometria (topografia, rede hidrográfica, aquíferos) e elementos relevantes para modelagem (reservatórios, por exemplo);
- b) a representação do comportamento hidrológico do sistema e os fenômenos nele considerado.

As variáveis de entrada, X(t), são geralmente utilizadas para representar os fenômenos hidrometeorológicos como a precipitação, a velocidade do vento, a evapotranspiração, dentre outros, além das vazões provenientes de bacias à montante e usos múltiplos dos recursos hídricos (consumo, irrigação, etc). São disponibilizadas em pontos da bacia hidrográfica na forma de séries temporais a partir de estações instaladas ou medições de campo.

As variáveis de saída do modelo, $Z_{sim}(t)$, são os valores das variáveis hidrológicas, as quais podem representar qualquer componente do ciclo hidrológico, a depender do modelo. Elas podem ser comparadas com os valores observados, $Z_{obs}(t)$, sendo possível, então, estimar o erro do modelo, $\varepsilon(t, \theta(t))$, muitas vezes chamado de resíduo (FIGURA 6). Tanto o erro do modelo quanto os valores simulados dependem do conjunto de parâmetros, θ , utilizados durante a simulação.
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO ERRO PRODUZIDO POR UM MODELO PARA DUAS VARIÁVEIS $\mathsf{Z}_1(t)$ e $\mathsf{Z}_2(t)$



FONTE: Adaptado de Hingray, Picouet e Musy (2015)

As variáveis de estado, Y(t), são atualizadas a cada passo de tempo durante a simulação, representando o estado de grandezas de interesse como, por exemplo, nível de água em um ponto ou saturação do solo de um compartimento. Os valores destas variáveis no início da simulação são conhecidos como "condições iniciais".

Os valores e a evolução temporal variáveis de estado dependem das condições de contorno, CC(t), que definem os valores limites para cada intervalo de tempo. As condições de contorno poder ser representadas por valores específicos sob certas condições, podem restringir a troca de fluxo entre elementos do sistema ou ainda ser condições baseada em funções, dentre outras.

Os parâmetros, $\theta(t)$, que podem ser fixos ou variáveis no tempo, são relacionados às características físicas mensuráveis do sistema (como condutividade hidráulica dos solos, por exemplo) ou características abstratas (como a capacidade de um reservatório conceitual). O número de parâmetros varia com a discretização do modelo, e a estimação de seus valores geralmente é determinada por meio de calibração.

2.1.2 Calibração de modelos hidrológicos

Existem diversos procedimentos e abordagens para a calibração dos parâmetros de um modelo. A abordagem determinística, amplamente conhecida e utilizada, tem o objetivo de encontrar os valores dos parâmetros para obter a melhor concordância possível entre os resultados da simulação e os dados observados. Além da abordagem determinística, existe a abordagem probabilística, cujo objetivo não é apenas estimar os melhores valores para os parâmetros, mas também suas distribuições de probabilidades, permitindo análises de incertezas existentes no processo de modelagem (HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015).

Independente da abordagem, o processo de calibração envolve a busca de parâmetros que minimizem os erros do modelo $\epsilon(t, \theta(t))$, e consiste na escolha do conjunto de dados utilizados, na escolha de um ou mais critérios para a avaliação do desempenho do modelo, e na escolha de um método para identificação dos melhores parâmetros para os respectivos critérios.

A calibração pode ser manual (tentativa e erro) ou automática. A calibração manual consiste em um ajuste dos valores dos parâmetros de maneira iterativa pelo usuário, e o desempenho do modelo avaliado no final de cada ajuste até que os resultados sejam satisfatoriamente representativos da resposta do sistema modelado. Este processo exige julgamento humano, muitas vezes envolve análise visual, além de um alto nível de entendimento da estrutura do modelo e, dessa forma, usuários menos experientes necessitam de prática para serem proficientes na calibração (DUAN et al., 2003; MOREIRA, 2005).

Por outro lado, a calibração automática é feita pela minimização (ou maximização) de uma (ou mais) função objetivo. Essa abordagem requer um algoritmo de otimização matemática para encontrar os parâmetros ideais do modelo, fazendo uso de ferramentas computacionais que propiciam maior agilidade quando comparada com a calibração manual (DUAN et al., 2003; MOREIRA, 2005).

As principais funções objetivo são apresentadas no QUADRO 1. Nas expressões matemáticas apresentadas, $Q_0(t) \in Q_S(t)$ são as vazões observadas e simuladas no tempo t, respectivamente; n é o número de observações; $\overline{Q_0}$ é a média das vazões observadas; e δ corresponde a um valor muito pequeno para evitar valores nulos nos logaritmos.

QUADRO I - PRINCIPAIS FUNÇUES OBJETIVO UTILIZADAS EM MODELAGEM HIDROLOGICA					
Bias (Erro de Volume)					
$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} (Q_0(t) - Q_S(t))$ $\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^{n} (Q_0(t) - Q_S(t))}{\sum_{t=1}^{n} (Q_0(t))}$	Este critério avalia a tendência do modelo em subestimar ou superestimar as vazões observadas, sendo seu valor ótimo igual a zero. Ao ser normalizado pela vazão média observada, esse critério fornece um erro relativo entre os volumes observados e simulados.				
RMSE e RMSEI (Raiz do	Erro Médio Quadrático)				
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} (Q_O(t) - Q_S(t))^2}{n}}$ $RMSEI = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} (\frac{1}{Q_O(t)} - \frac{1}{Q_S(t)})^2}{n}}$	Este critério avalia a média dos quadrados das diferenças entre valores observados e simulados, valendo-se da extração da raiz para que seu valor seja compatível com a unidade da grandeza avaliada e, dessa forma, possa ser entendido em termos de magnitude. Por envolver os valores das vazões ao quadrado, o RMSE é mais sensível aos erros nas vazões máximas. Para a sensibilidade a erros nas vazões mínimas, utiliza-se o inverso das vazões no cálculo, dando origem ao RMSEI. Ambos RMSE e RMSEI têm seus valores ótimos iguais a zero.				
NSE (Coeficiente de Nash-Sutcliffe)					

QUADRO 1 - PRINCIPAIS FUNÇÕES OBJETIVO UTILIZADAS EM MODELAGEM HIDROLÓGICA

Este critério é um dos mais amplamente utilizados na modelagem hidrológica, e compara a magnitude da variância residual e a variância dos dados medidos.

Quanto mais seu valor está próximo de 1, melhor a concordância entre a simulação e as observações. Um valor negativo indica que é melhor usar o valor médio das vazões observadas ao invés das modeladas.

Também é sensível aos valores de vazões máximas e, para considerar melhor as vazões mínimas, a mesma formulação é utilizada em uma forma logarítmica.

FONTE: Nash e Sutcliffe (1970), Tucci e Collischonn (2003), Moriasi *et al.* (2007) e Hingray, Picouet e Musy (2015)

 $NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n} (Q_0(t) - Q_S(t))^2}{\sum_{t=1}^{n} (Q_0(t) - \overline{Q_0})^2}$

 $NSE_{log} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n} (\ln(Q_0(t) + \delta) - \ln(Q_S(t) + \delta))^2}{\sum_{t=1}^{n} (\ln(Q_0(t) + \delta) - \ln(\overline{Q_0} + \delta))^2}$

De acordo com Burnash (1995)³ citado por (COLLISCHONN, 2001), algumas críticas relacionadas à calibração automática dizem respeito ao fato de que o modelo pode deixar de ser uma ferramenta de análise do comportamento da bacia e passar a

³ Burnash, R. (1995) The NWS River Forecast System-Catchment Modeling. In: Singh, V., Ed., **Computer Models of Watershed Hydrology**, Water Resources Publication, Colorado, 311-366.

ser uma questão de produzir os melhores conjuntos de parâmetros que minimizem ou maximizem as funções objetivo, os quais podem ser conceitualmente absurdos, ou irreais. Além disso, o autor defende a possibilidade de que, com a calibração automática, o usuário perca a oportunidade de aprendizado, bem como a sensibilidade sobre os aspectos positivos e limitações do modelo hidrológico.

Segundo Collischonn (2001), outra crítica diz respeito às abordagens utilizadas pelos algoritmos de calibração na busca pelo melhor conjunto de parâmetros, que podem ser baseadas em técnicas locais ou globais.

As abordagens locais foram desenvolvidas para o caso ideal de a superfície de resposta das funções objetivo seja convexa, e a exploram de maneira progressiva e evolutiva na direção em que é possível melhorar o valor da função, parando quando não há mais como produzir melhoria significativa. Entretanto, essa situação ideal é raramente encontrada е normalmente as superfícies podem apresentar descontinuidades e apresentarem grande número de ótimos locais, bem como se tornarem cada vez mais complexas quanto maior for a complexidade do modelo. Além disso, vale ressaltar que a representação da superfície nem sempre é possível, pois depende do número de parâmetros do modelo (COLLISCHONN, 2001; BEVEN, 2012; HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015).

A FIGURA 7 ilustra duas superfícies de um modelo de dois parâmetros $\theta_1 e \theta_2$ e suas respectivas seções transversais. O ponto ótimo global em cada caso é destacado por um triângulo. Na superfície da esquerda está representada a situação ideal de uma superfície convexa, na qual um algoritmo de abordagem local convergiria para o único ponto ótimo da função objetivo. Em contrapartida, uma superfície complexa está representada na superfície da direita. A existência de mais de um "ponto ótimo" na superfície possibilita que um algoritmo de abordagem local convirja para um conjunto de parâmetros que resulte num melhor desempenho do modelo que os de sua vizinhança, porém não melhor quanto os de um "ótimo global".

De acordo com Collischonn (2001), para solucionar essas limitações, métodos de otimização global foram desenvolvidos, que podem ser usados para explorar uma parte muito maior da superfície sem parar em qualquer ótimo local. Entre as técnicas utilizadas nos algoritmos de abordagem global está a exploração utilizando múltiplos conjuntos de parâmetros iniciais. Outra forma é a utilização de algoritmos genéticos, os quais utilizam noções de seleção natural e que consistem em modificar uma população de parâmetros para identificar o conjunto ideal.





FONTE: Adaptado de Hingray, Picouet e Musy (2015)

Independente da abordagem, todos esses métodos de otimização são baseados no pressuposto de que existe um único ótimo real na superfície. No entanto, a experiência comprova que muitos conjuntos de parâmetros oferecem desempenhos equivalentes, inclusive pelo fato da existência de incertezas relacionadas aos dados medidos e às incertezas intrínsecas na estrutura do modelo, que resultam numa impossibilidade de concordância perfeita entre simulação e observação. Para se referir a este aspecto da modelagem hidrológica, Beven e Binley (1992) introduziram o conceito de equifinalidade, apresentando o GLUE (*Generalized Likelihood Uncertainty Estimation*), uma metodologia desenvolvida para representar as incertezas no contexto da análise de Monte Carlo combinada com uma abordagem

bayesiana para estimação e propagação dessas incertezas (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1998).

Segundo Gupta, Sorooshian e Yapo (1998), uma outra maneira de lidar com as incertezas consiste na calibração multiobjetivo, a qual busca otimizar mais de uma função objetivo simultaneamente. Por meio dela, os conjuntos de parâmetros podem ser divididos em dois grupos. O primeiro grupo engloba os conjuntos que permitam a melhoria de uma ou mais função objetivo a partir da modificação do valor de algum parâmetro e, por isso, não produzem os melhores resultados de simulação. O segundo grupo representa os conjuntos para os quais a melhoria de uma função objetivo implica na deterioração de outra, e é como frente (ou região) de Pareto (BRAVO; COLLISCHONN; TUCCI, 2009; HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015).

Bravo, Collischonn e Tucci (2009) ilustraram a frente de Pareto para um modelo hipotético de dois parâmetros, $\theta_1 e \theta_2$, e duas funções objetivo, F_I e F_{II} FIGURA 8. Cada conjunto de parâmetros (A, B, C e D, por exemplo) possui um conjunto de valores de funções objetivo correspondente (a, b, c e d, por exemplo). A frente de Pareto é identificada pela reta que conecta os ótimos de cada função objetivo, a partir da qual é possível identificar boas soluções para a calibração do modelo (COLLISCHONN, 2001).



FIGURA 8 - A FRENTE DE PARETO EM UM MODELO HIPOTÉTICO DE DOIS PARÂMETROS

FONTE: Bravo, Collischonn e Tucci (2009)

A principal dificuldade da calibração multiobjetivo é encontrar um método que permita combinar informações muitas vezes conflitantes produzidas por diferentes funções objetivo e identificar a região de Pareto. Uma maneira é construir uma soma pondera das diferentes funções objetivo, reduzindo a um problema mono-objetivo. A partir de várias repetições do método, com pesos diferentes para cada função objetivo a cada calibração, é possível a definição aproximada da região de Pareto (COLLISCHONN, 2001).

O algoritmo SCE-UA (*Shuffled Complex Evolution*) da Universidade do Arizona, desenvolvido por Duan, Sorooshian e Gupta (1992), combina técnicas de busca aleatória, algoritmos genéticos e a otimização simplex de Nelder e Mead (1965), e tornou-se um dos algoritmos de otimização mais amplamente utilizados na modelagem chuva-vazão devido à sua robustez em encontrar o ótimo global em superfícies complexas (TUCCI; COLLISCHONN, 2003; BEVEN, 2012). Entretanto, segundo Collischonn (2001) e Duan *et al.* (2003), o uso de do SCE-UA na calibração multiobjetivo, como feito em Madsen (2000), é pouco eficiente computacionalmente.

Yapo, Gupta e Sorooshian (1998) desenvolveram uma técnica mais eficiente, chamada MOCOM-UA (*Multiple-Objective Complex Evolution*), que é uma variação do algoritmo SCE-UA. O MOCOM-UA utiliza o conceito de *Pareto ranking* (hierarquização de Pareto, em português) e, em apenas uma rodada de simulação, é capaz de encontrar vários pontos da região de Pareto (DUAN et al., 2003; TUCCI; COLLISCHONN, 2003).

Segundo Collischonn (2001) e Hingray, Picouet e Musy (2015), um modelo deve ser avaliado para garantir que ele atenda aos objetivos para os quais foi desenvolvido. Embora existam grandes variações da terminologia adotada na literatura, o termo validação é comumente utilizado para indicar um procedimento destinado a avaliar o desempenho do modelo, dos seus procedimentos e hipóteses (SINGH, 2017).

A validação do modelo pode compreender um ou mais processos de verificação. Por exemplo, os modelos hidrológicos podem ser calibrados com dados de um período e verificados com dados de outro período. Em outro tipo de verificação pode se dar quando o modelo é calibrado com dados de um posto fluviométrico e verificado com dados de outro. Ou ainda, quando a série de dados disponível em um posto é dividida em dois períodos distintos, como por exemplo de precipitação acima ou abaixo da média (período úmido e seco), o modelo pode ser calibrado com um

grupo de dados e verificado com outro. Klemes (1986) apresenta um esquema de validação, os quais são discutidos com mais detalhes em Collischonn (2001) e Hingray, Picouet e Musy (2015).

Hillston (2003) explica que um modelo geralmente é desenvolvido para analisar um problema específico e, portanto, pode representar diferentes partes do sistema em diferentes níveis de abstração. Como resultado, o modelo pode ter diferentes níveis de validade para diferentes partes do sistema em todo o espectro de comportamento do sistema. Para a autora, os três aspectos que devem ser considerados durante a validação de um modelo são: as hipóteses, os parâmetros e os resultados. Este argumento vai de encontro com o de Hingray, Picouet e Musy (2015), que afirmam que além de validar o modelo testando a plausibilidade de sua estrutura e os conjuntos de parâmetros obtidos durante sua calibração, é importante integrar à validação a análise e a caracterização das incertezas.

Entretanto, é importante ressaltar que é impossível concluir que um modelo seja de fato realista, independente da sua capacidade de reproduzir as características das bacias e os processos que ocorrem nela. Existe a chance de que futuras observações possam revelar eventos e comportamentos da bacia que não foram observados no passado e que não foram considerados na construção do modelo.

2.1.3 Exemplos de modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos foram desenvolvidos ao longo de mais de 150 anos. Segundo Rosbjerg e Madsen (2005), os primeiros exemplos de modelos são o Método Racional (1850) para a modelagem de vazões de pico, o Método de Rippl (1883) para determinação de armazenamento de reservatórios e o Método do Hidrograma Unitário (1932) para transformação de chuva em vazão. Ao longo do tempo e com o revolução digital nos anos 1960, o uso de ferramentas computacionais permitiu cálculos que anteriormente não eram possíveis, viabilizando o desenvolvimento de novos modelos hidrológicos (SINGH, 2018).

A seguir serão apresentados alguns modelos hidrológicos e suas principais características.

O modelo SHE (*Système Hydrologique Européen*) é um modelo que foi desenvolvido no início dos anos 1980 por Abbot *et al.* (1986a,b), e pode ser

classificado como um modelo físico e distribuído. Neste modelo, a bacia hidrográfica é dividida em grade à escolha do usuário, mas na prática a escolha é limitada pela resolução do MDE (Modelo Digital de Elevação) e pelos recursos computacionais (HINGRAY; PICOUET; MUSY, 2015).

Os processos hidrológicos no modelo SHE são descritos por equações, por exemplo, a evapotranspiração é representada pela equação de Penman-Monteith; o escoamento em zona não saturada é representado pela equação de Richards; o escoamento na região saturada é representado pela equação de Boussinesq; o escoamento superficial e o escoamento em canais são representados pela equação da continuidade e pela equação de difusão. Apesar de teoricamente não necessitar calibração, algumas equações possuem parâmetros que exigem calibração independente, como por exemplo as do modelo de interceptação de Rutter (COLLISCHONN, 2001). Versões mais atualizadas do SHE são disponibilizadas pelo *Danish Hydraulic Institute* (DHI), como o MIKE-SHE (REFSGAARD; STORM, 1995) e o SHETRAN (EWEN; PARKIN; O'CONNELL, 2000).

Beven e Kirkby (1979) desenvolveram o modelo TOPMODEL (*Topography based hydrological Model*), um modelo distribuído, de base física para alguns processos e conceitual para outros. Segundo Collischonn (2001), sua hipótese básica é a geração de escoamento distribuída na bacia por excesso de saturação. Além disso, a heterogeneidade na bacia é representada por um índice topográfico, e a partir dele todos os elementos que possuem o mesmo valor deste índice se comportam de forma similar.

O modelo HBV (*Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning*) é um modelo semi-distribuído e conceitual, desenvolvido por Bergstrom (1973, 1992), muito aplicado nos países nórdicos. Sua estrutura é descrita por reservatórios em série, divididos em módulos que descrevem os processos hidrológicos como a precipitação (chuva e neve), evaporação, umidade do solo e geração de escoamento, cada um com seus respectivos parâmetros. A discretização da bacia é feita por sub-bacias, que são delimitadas com base nas características de elevação e cobertura do solo.

A família de modelos conceituais GR foi iniciada por Michel (1983) com uma versão diária de dois reservatórios e um único parâmetro. Desde então o modelo foi aumentando em complexidade: Edijatno *et al.* (1999) apresentaram o GR3J, um modelo com três parâmetros, que foi posteriormente aperfeiçoado por Perrin, Michel e Andréassian (2003) com a adição de mais um parâmetro para controle da

capacidade de um dos reservatórios do modelo, resultando no GR4J. Mais recentemente, versões mais aprimoradas do modelo foram apresentadas: o GR5J que possui um parâmetro a mais para trocas de água subterrâneas, e o GR6J que melhora a simulação de pequenas vazões.

Os modelos da família GR foram concebidos para diversos intervalos de tempo: anuais, mensais, diários e horários, como mostra a TABELA 1. A ideia é que para modelar a relação chuva-vazão, diferentes níveis de complexidade são necessários (em termos de estrutura do modelo ou número de parâmetros). Assim, quanto maior o intervalo de tempo, menos complexo é o modelo (CORON et al., 2017).

Nome	Intervalo de Tempo	Parâmetros	
GR1A	Anual	1	
GR2M	Mensal	2	
GR4J	Diário	4	
GR5J	Diário	5	
GR6J	Diário	6	
GR4H	Horário	4	

TABELA 1 - EXEMPLOS DE MODELOS DA FAMÍLIA GR

FONTE: Adaptado de Coron et al. (2017)

O modelo LISFLOOD é um modelo físico e distribuído desenvolvido por De Roo, Wesseling e Van Deursen (2000) especificamente para a simulação de processos hidrológicos em grandes bacias hidrográficas europeias. O modelo foi projetado para melhor aproveitar os conjuntos de dados existentes sobre tipo de solo, cobertura, topografia e meteorologia a partir de uma ferramenta chamada PCRaster e, por isso, a discretização é por gradeamento, não havendo nenhuma limitação quanto a resolução espacial. O modelo possui 35 parâmetros que, devido a estrutura modular do LISFLOOD, podem ser ou não utilizados integralmente. Além disso, a discretização temporal pode ser composta, por exemplo, com as variáveis de estado ao final de uma simulação diária de um processo serem condições iniciais para simulação horária de outro (VAN DER KNIJFF; YOUNIS; DE ROO, 2010). Em setembro de 2019, o código do LISFLOOD se tornou público pelo *Joint Research Centre* (JRC) com intuito de permitir que mais pesquisadores possam contribuir para o aprimoramento do modelo.

O modelo SWAT (*Soil and Water Assesment Tool*) é um modelo de base física e determinístico, desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos no final dos anos 1990. Ao longo de 30 anos, o SWAT evoluiu a partir de vários modelos individuais e foi testado para uma ampla variedade de regiões, condições climáticas e escalas de tempo (P. W. GASSMAN et al., 2007).

O modelo SWAT contém diferentes módulos, que produzem resultados em escala diária. O módulo de bacias hidrográficas que simula processos de escoamento e erosão, movimento da água no solo, evapotranspiração, práticas agrícolas, nutrientes do solo, ciclo de carbono, degradação e transporte de pesticidas e bactérias. O módulo de reservatório simula detenção de água, sedimentos e poluentes, bem como os processos químicos e biológicos que ocorrem no tempo. Finalmente, o módulo de canais que simula os escoamentos, a dinâmica de sedimentos e a degradação biológica durante o transporte (DOUGLAS-MANKIN; SRINIVASAN; ARNOLD, 2010).

O modelo IPH II é um modelo conceitual de 7 parâmetros desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a simulação de parte do processo do ciclo hidrológico. Apresentado por Tucci, Ordonez e Simões Lopes (1981)⁴ citado por Germano, Tucci e Silveira (1998), é composto por quatro algoritmos: (i) de perdas por meio da evaporação e interceptação, (ii) de separação dos escoamentos (algoritmo de Horton modificado), (iii) de propagação do escoamento superficial, e (iv) de propagação subterrânea.

Finalmente, outro modelo do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, desenvolvido por Collischonn (2001), é o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH). O MGB-IPH é um modelo determinístico, semi-distribuído, de base física para alguns processos e conceitual para outros, proposto para simular o processo de transformação chuva-vazão em grande escala, baseado nos modelos LARSIM (BREMICKER⁵, 1998 citado por COLLISCHONN, 2001), SLURP (KITE, 1997) e VIC (LIANG et al., 1994), com algumas modificações e simplificações. É composto por módulos que simulam o balanço de água no solo, o balanço de energia e a evapotranspiração, a geração do escoamento e sua propagação pela rede de drenagem, sendo sua discretização espacial feita por sub-bacias e URHs (FLEISCHMANN et al., 2018; MELATI; FAN; ATHAYDE, 2019).

⁴ TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; SIMÕES LOPES, M. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. Anais IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Fortaleza, 1981.

⁵ BREMICKER, M. Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. Dissertation Doktorgrad, Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität. Freiburg. Juli, 1998.

2.2 O SENSORIAMENTO REMOTO E A ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Devido à grande quantidade de dados de precipitação, nos seus mais diversos passos de tempo e formatos, a estimativa quantitativa de precipitação a partir de métodos de integração de dados não é uma tarefa trivial (CALVETTI et al., 2017). Além disso, a acurácia dos resultados de modelos e previsões hidrológicas depende em grande parte da qualidade dos dados de precipitação, bem como a representação da distribuição espacial e temporal das chuvas exerce um significativo impacto nestes resultados (LIU, 2012).

Segundo Paiva (2008), postos pluviométricos fornecem medidas teoricamente precisas de precipitação, entretanto com baixa densidade na maioria das bacias brasileiras. Essa baixa densidade espacial juntamente com a baixa frequência temporal, principalmente em regiões mais remotas, não atendem os requerimentos para que se tenha uma representação adequada da variabilidade de pequena escala e outras características do padrão de chuvas (HUFFMAN et al., 2007; SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016).

Outro ponto importante relativo à medição de chuva é que postos pluviométricos convencionais fornecem registros válidos apenas para um pequeno entorno do instrumento (COLLISCHONN, 2006), além de possuírem uma área de captação de poucos centímetros quadrados e, portanto, medem a chuva em um determinado local de forma pontual, que não necessariamente permite capturar a distribuição espacial da chuva (SOARES; PAZ; PICCILLI, 2016). Nesse sentido, além de falhas na detecção de precipitação, há a possibilidade de que eventos isolados e de grande magnitude ocorram sobre algum dos instrumentos, o que acabará influenciando nas análises que dependem desta informação.

Diante disso surge a necessidade de extrapolação (ou interpolação) dos dados dos postos pluviométricos, resultando em estimativas de precipitação para as áreas mais distantes dos pontos de medição, embora não seja garantida a quantidade real precipitada. Conti (2002) destaca três métodos muito utilizados para extrapolação: o método da média aritmética, o método de Thiessen e o método das isoietas, mas afirma que essas técnicas não consideram quaisquer indícios físicos das nuvens que efetivamente geraram a precipitação. Além disso, modelar a distribuição do volume precipitado com informações pontuais frequentemente induz a erros (COLLISCHONN, 2006).

Neste contexto, Conti (2002) defende a necessidade de metodologias que contemplem melhores estimativas (temporais e espaciais) de precipitação, através de técnicas de Sensoriamento Remoto, por exemplo. Calvetti *et al.* (2017) corroboram com essa afirmativa ao defenderem que a utilização do Sensoriamento Remoto em paralelo à rede de monitoramento terrestre melhora a precisão dos modelos hidrológicos quando comparados a modelos que usam apenas os postos de medição convencional.

2.2.1 Princípios do Sensoriamento Remoto

Mendes (1990, p. 8) define o Sensoriamento Remoto como:

A utilização conjunta de sensores, a bordo de aeronaves e/ou espaçonaves e equipamentos para processamento dos mesmos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através da análise das interações entre energia eletromagnética e os elementos que compõem a superfície da Terra e a atmosfera.

Estes sensores podem ser classificados em passivos (quando a energia detectada provém de uma fonte de radiação externa, por exemplo, o Sol) ou ativos (quando o próprio sistema emite energia em direção ao objeto e mede a quantidade dessa energia que é refletida de volta ao sensor, como é o caso dos radares).

O Sol é a principal fonte da radiação eletromagnética, com comprimentos de onda que variam de 10⁻¹² a 10⁴ metros, constituindo o espectro eletromagnético (COLLISCHONN, 2006). As técnicas de Sensoriamento Remoto que fazem uso de sensores passivos na estimativa da precipitação utilizam o intervalo de 0,2µm a 1m, dividido em faixas denominadas bandas espectrais, apresentadas na TABELA 2.

Faixa do Espectro	Comprimento de Onda
Ultravioleta (UV)	0,2 – 0,4 μm
Visível (VIS)	0,4 – 0,7 µm
Infravermelho (IR)	0,7 µm – 1 mm
Micro-ondas (MW)	1 mm – 1m

FONTE: Collischonn (2006)

Conti (2002) justifica o motivo da utilização dessas bandas ao explicar que há um efeito de bloqueio nas demais áreas do espectro, que é causado por gases, vapor d'agua e aerossóis presentes na atmosfera. Segundo Ulaby e Long (2014), esse bloqueio é representado pela opacidade atmosférica, que indica a capacidade da atmosfera em absorver a radiação. A opacidade atmosférica é o oposto do conceito de transmissividade, que representa a capacidade da atmosfera em permitir a penetração das ondas eletromagnéticas até a superfície (CONTI, 2002).

A parte superior da FIGURA 9 ilustra a opacidade atmosférica sob condições de céu limpo. As regiões do espectro eletromagnético onde a opacidade é baixa e a transmissividade alta são chamadas de "janelas atmosféricas" e, dentre elas, a janela na região de ondas de rádio é a única que permite a efetiva transmissão da radiação através da atmosfera, mesmo com a presença de nuvens (NASEM, 2015). Segundo Conti (2002), essas regiões têm grande importância para o Sensoriamento Remoto pois possibilitam a reflexão da radiação que atinge a superfície terrestre, beneficiando os sistemas de sensores passivos a bordo de satélites.



FONTE: Adaptado de Ulaby e Long (2014)

A região ultravioleta compreende os comprimentos de onda de 0,01 a 0,4 μ m. No entanto, é na faixa com os maiores comprimentos de onda (0,2 a 0,4 μ m) que estudos que se utilizam da energia refletida proveniente da radiação solar são desenvolvidos. É nesta parcela da região ultravioleta que é possível a obtenção de informações sobre a camada ozônio, dióxido de enxofre e outros gases na troposfera e estratosfera (0 – 50 km), que são de interesse das ciências atmosféricas e vulcânicas. Em relação aos menores comprimentos de onda da região ultravioleta (0,01 a 0,2 µm), destacam-se estudos na termosfera (> 100 km) importantes para a Aeronomia, como por exemplo as emissões auroreais. A análise desses menores comprimentos de onda, no entanto, corresponde a outra linha de pesquisa, pois as informações detectadas nessa faixa são provenientes de emissões atômicas e não mais da medida de reflectância dos alvos (KRUEGER, 2014).

A região do visível recebe este nome por se tratar da faixa do espectro cujos comprimentos de onda são visíveis ao olho humano e, por isso, permite o discernimento de solos, oceanos e nuvens. Uma desvantagem na utilização desta banda é que a obtenção da informação a partir dessas imagens só é possível na região iluminada da Terra.

Na análise de imagens provenientes da região do infravermelho também são facilmente identificados o solo, oceanos e nuvens. Ao contrário do que ocorre na faixa visível do espectro, é possível a obtenção de informações no período noturno nas faixas do infravermelho, permitindo a análise da evolução das nuvens em todo o período do dia (KIDDER; HAAR, 1995). No entanto, de acordo com Ferreira⁶ (2006), conforme citado por Almeida (2017), uma desvantagem existente na banda do infravermelho é a dificuldade em distinguir imagens com temperaturas semelhantes.

No que se refere às regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, a partir de sensores que operam nesta região é possível analisar características de nuvens relacionadas à precipitação, como por exemplo:

- a) o brilho, que é mensurado no canal visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7µm). A intensidade da reflexão da luz do Sol pelas nuvens pode ser uma indicação de sua espessura e, consequentemente, do volume de água armazenado em seu interior (PETTY, 1995).
- b) a temperatura do topo, medida a partir de imagens na faixa do espectro denominada infravermelho termal (8 a 14µm). Quanto mais fria a nuvem, maior é a sua penetração nas camadas mais frias da atmosfera e maior a tendência a gerar precipitação (MISHRA; SHARMA, 2001; CONTI, 2002). No entanto, por conta da dificuldade em distinguir temperaturas

⁶ FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

semelhantes no infravermelho, nuvens mais baixas acabam, muitas vezes, não sendo identificadas (FERREIRA, 2006, apud ALMEIDA, 2017).

 c) a textura, avaliada no espectro visível e no infravermelho, auxilia na identificação de sistemas convectivos, por apresentarem maior "aspereza" nas imagens, além de permitir distinguir também os tipos de nuvens (CONTI, 2002).

Os sensores que operam na região de micro-ondas do espectro eletromagnético foram um marco na estimativa de taxa de precipitação. Segundo Ulaby e Long (2014) esses sensores de micro-ondas são divididos em duas classes: os passivos, chamados radiômetros, que medem a radiação eletromagnética emitida e/ou refletida do alvo; e os ativos, chamados radares, que emitem sua própria energia e medem a quantidade dela que retorna ao sensor.

Os principais elementos de um radiômetro são ilustrados na FIGURA 10. A energia emitida e/ou refletida pela superfície é recebida pela antena do radiômetro, que então passa por um processo de tratamento (amplificação, filtragem e integração) para que a informação necessária seja registrada em um coletor de dados. Além disso, a antena pode possuir algum sistema de varredura para incrementar a área de observação, mas que necessita de calibração adequada.



FIGURA 10 - ELEMENTOS PRINCIPAIS DE UM RADIÔMETRO

FONTE: Adaptado de Ulaby e Long (2014)

Ao contrário do que ocorre nas medições no visível e no infravermelho, que estimam a precipitação de uma forma indireta (não observam diretamente as gotículas de chuva), a medida por radiômetros responde de forma física à presença de partículas de água e cristais de gelo no interior das nuvens (COLLISCHONN, 2006; JENSEN, 2009). Collischonn (2006) explica que é possível converter o brilho espectral obtido por estes sensores em temperatura de brilho, e destaca a efetividade da estimativa de precipitação nesta faixa do espectro eletromagnético sobre oceanos. O autor ainda esclarece que quanto maior o número de gotas de água numa nuvem, maior a temperatura de brilho e, a partir desse contraste e de adequada calibração, é possível obter estimativa de taxas de precipitação bastante precisas.

Dentre as desvantagens dos radiômetros está a maior dificuldade de estimação de taxas de precipitação sobre o continente quando comparado às estimativas sobre o oceano, especialmente pelo fato de que sobre o continente, o contraste das temperaturas de brilho da superfície terrestre e das nuvens não é tão expressivo (COLLISCHONN, 2006).

O termo radar vem de "*Radio Detection and Ranging*", ou "Detecção de Alvos e Avaliação de Distâncias por Ondas de Rádio", tendo sido assim chamado pelo motivo de que as primeiras funções destes instrumentos era detectar navios e aeronaves, e determinar suas distâncias (EPIPHANIO, 2002; ULABY; LONG, 2014). Segundo Ulaby e Long (2014), um radar pode determinar:

- a) a direção do sinal, por meio do apontamento da antena;
- b) a distância, ao medir o tempo de ida e retorno do sinal;
- c) a velocidade, por meio da observação do Efeito Doppler no sinal de retorno;
- d) a dispersão do sinal, comparando a energia do sinal de retorno com o originalmente transmitido.

A FIGURA 11 ilustra os componentes básicos de típico sistema de radar. O transmissor é utilizado para produzir um sinal que é transmitido pela antena. A parcela desse sinal que retorna à antena após atingir o alvo (chamado de eco) é processado pelo receptor para extração da informação de interesse. Em radares mais sofisticados há ainda a necessidade de algum tipo de correlação entre o transmissor e o receptor, para que as características dos sinais transmitidos e recebidos possam ser

comparadas. Além disso, em muitos radares a mesma antena é utilizada para transmissão e recepção e, por isso, é necessário algum instrumento que alterne adequadamente a função da antena durante todo o processo de medição (ULABY; LONG, 2014).



FIGURA 11 - PRINCIPAIS ELEMENTOS DE UM SISTEMA RADAR

FONTE: Adaptado de Ulaby e Long (2014)

Dentre os diversos instrumentos classificados como radares, se destacam os radares meteorológicos por serem bastante vantajosos em conduzir observações espacialmente contínuas e em curtos intervalos de tempo. Entretanto, existem diversos fatores físicos que inserem incertezas nas estimativas de precipitação por radares, que não são apenas provenientes de distorções dos sinais na atmosfera, mas também devido ao bloqueio devido à topografia, por exemplo (WERNER; SCHELLEKENS; KWADIJK, 2005). As estimativas também dependem da calibração periódica com dados conhecidos de precipitação (bom ajuste com os postos pluviométricos convencionais), de sistemas de filtragem, do seu alcance, dentre outros fatores (CONTI, 2002; COLLISCHONN, 2006; CALVETTI *et al.*, 2017).

O QUADRO 2 apresenta algumas aplicações dos sensores de micro-ondas em estudos ambientais:

RADIÔMETROS	RADARES					
Hidrologia						
 Umidade do solo Drenagem superficial Mapeamento de inundações Mapeamento de água superficial Extensão da cobertura, equivalente à água e umidade da neve 	 Umidade do solo Mapeamento de bacias hidrográficas Mapeamento de inundações Mapeamento de água superficial Mapeamento de neve 					
Осе	ano					
 Medida de velocidade do vento, temperatura e salinidade na superfície. Medida e mapeamento de chuva Monitoramento de derramamento de óleo. 	 Monitoramento de tráfego marítimo Correntes oceânicas Mapeamento do fundo do mar Monitoramento de derramamento de óleo 					
Meteorologia e Climatologia (e	especialmente sobre oceanos)					
 Perfis de temperatura e vapor d'água Água líquida (chuva) 	 Nuvens e chuva Medida de velocidade e direção do vento 					
Outras a	olicações					
 Distribuição de umidade do solo para fins de agricultura, como cronograma de plantio e irrigação Monitoramento e mapeamento de calotas polares Perfis de temperatura atmosférica e de campo magnético Quantificação de gases atmosféricos 	 Estrutura geológica e litologia Mapeamento topográfico Mapeamento e monitoramento do Uso e Ocupação do Solo Densidade de vegetação Monitoramento de desmatamento e queimadas Monitoramento e mapeamento de calotas polares e icebergs, mudanças glaciais e sua velocidade 					

QUADRO 2 - EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO EM MICRO-ONDAS

FONTE: Adaptado de (ULABY; LONG, 2014)

Uma desvantagem comum de alguns sensores passivos dentro do Sensoriamento Remoto diz respeito ao período entre duas passagens consecutivas dos satélites sobre um mesmo ponto na superfície terrestre, a depender de sua órbita (COLLISCHONN, 2006; ALMEIDA, 2017).

Os satélites são plataformas usadas como elemento de suporte para os sistemas sensores, e podem apresentar órbitas geoestacionárias ou polares, como indicado na FIGURA 12.

FIGURA 12 - CARACTERÍSTICAS ORBITAIS



FONTE: O autor (2021)

Uma plataforma de órbita geoestacionária efetua sua trajetória equatorial seguindo um movimento compatível com a rotação da Terra. Dessa forma, orbitam sempre sobre o mesmo ponto da superfície terrestre, obtendo imagens com grande resolução temporal, permitindo a observação da evolução de sistemas de nuvens sobre a região, por exemplo. No entanto, a principal desvantagem das plataformas geoestacionárias é que suas observações são distorcidas nos polos. Além disso, devido sua grande distância da superfície terrestre, possui uma menor resolução espacial (PETTY, 1995).

Por outro lado, um satélite em uma órbita polar se desloca num sentido Norte-Sul em torno do planeta, operando em altitudes mais baixas. Devido ao movimento de rotação da Terra, um satélite em órbita polar tem a capacidade de cobrir todo o globo, resultado do deslocamento relativo da projeção do satélite sobre a superfície terrestre. O resultado são diferentes verticais a cada revolução, como indicado na FIGURA 13.



FIGURA 13 - ÓRBITA POLAR E A ROTAÇÃO DA TERRA

FONTE: Harrison et al. (2017), adaptado de Wright, Grego e Gronlund (2005).

Uma outra característica importante das órbitas polares é que podem sofrer inclinações com o intuito de sincronizar o movimento do satélite com a rotação da Terra de maneira que o satélite passe aproximadamente à mesma hora do dia sobre a mesma latitude. Essas órbitas são ditas heliossíncronas e, segundo Collischonn (2006), possuem a vantagem de as imagens de sensores que operam na faixa do visível, por exemplo, são obtidas sob as mesmas condições de iluminação solar a cada dia.

Petty (1995) ressalta que apesar da possibilidade de cobertura global dos satélites em órbitas polares, que podem ser de aproximadamente duas vezes diárias, essa capacidade é limitada pela largura de visada dos sensores, que por sua vez é função da altitude da órbita. O autor destaca que regiões de baixa latitude podem não ser observadas por dois ou mais períodos consecutivos de 12 horas, a depender do sensor. Além disso, outra desvantagem é que, por exemplo, o ciclo diário completo de eventos de precipitação não pode ser amostrado, mas o uso de múltiplos sensores em diferentes órbitas pode minimizar esse problema

A FIGURA 14 exemplifica a cobertura de um satélite com inclinação de 45°, sendo possível perceber que como a Terra rotaciona ao mesmo tempo em que o satélite executa uma volta em sua órbita, as projeções terrestres não se sobrepõem. Outro fato interessante é que o satélite faz observações de regiões com latitude de valor numérico igual ou inferior ao ângulo de inclinação do satélite, sendo a melhor cobertura próximas aos polos (WRIGHT; GREGO; GRONLUND, 2005).



FIGURA 14 - COBERTURA DE UM SATÉLITE COM ÓRBITA INCLINADA

FONTE: Harrison et al. (2017), adaptado de Wright, Grego e Gronlund (2005).

Em resumo, existe uma diversificação muito grande no que diz respeito aos produtos do Sensoriamento Remoto. A variedade de sensores que operam em distintas faixas do espectro eletromagnético, além dos diversos satélites e órbitas refletem em distintas formas de observação. Neste contexto, pesquisadores e instituições ao redor do mundo têm se dedicado ao desenvolvimento de metodologias que combinem esses dados de forma que fenômenos que apresentam variabilidade temporal e espacial, como a precipitação, sejam bem representados.

2.2.2 A estimativa de precipitações a partir de sensores espaciais e terrestres

Como já discutido, um único sensor ou satélite dificilmente pode fornecer produtos de precipitação com qualidade satisfatória e com grande cobertura espacial. Hong *et al.* (2019) reafirmam que sensores de satélites são de grande importância na estimativa de precipitação sobre a grande maioria da superfície do planeta que não possui sistemas de observação adequados, e ainda ressaltam que a combinação de satélites, radares meteorológicos e pluviômetros pode produzir resultados de alta qualidade.

Neste contexto, produtos multi-satélites para estimativa de precipitação têm sido desenvolvidos e disponibilizados publicamente, com cobertura quase global, boas resoluções espaciais e temporais, além de serem atualizados constantemente, promovendo seu uso e aplicações (TANG; LONG; HONG, 2016). Tais produtos são baseados principalmente em observações com sensores do infravermelho e micro-ondas passivas, a bordo principalmente de plataformas geoestacionárias e polares, respectivamente. Sensores ativos de micro-ondas também são utilizados, por exemplo: o *Precipitation Radar* (PR) a bordo do satélite TRMM, o *Cloud Profiling Radar* (CPR) a bordo do satélite CloudSat e o *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR) a bordo do *GPM Core Observatory* (HONG et al., 2019).

Segundo Hong *et al.* (2019) e Muhammad *et al.* (2020), alguns dos principais produtos utilizados são:

a) o GPCP (Global Precipitation Climatology Project) do World Climate Research Program (WCRP);

- b) o TMPA (*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*) e o IMERG (*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM*) da Agência Espacial Norte Americana (NASA);
- c) o MPE (Multi-sensor Precipitation Estimate) da European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT);
- d) o PERSIANN (*Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks*) Universidade do Arizona;
- e) o CHIRPS (*Climate Hazards Center Infrared Precipitation with Stations*) do Centro de Riscos Climáticos (CHC) da Universidade da Califórnia em Santa Bárbara;
- f) o CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) do Centro de Previsão Climática (CPC) do serviço de Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos (NOAA);

O primeiro algoritmo de combinação de dados multi-satélites foi o GPCP, apresentado pela WCRP em 1986 por meio do programa *Global Energy and Water Exchange* (GEWEX) com o objetivo de solucionar o problema de quantificação da distribuição da precipitação em todo o mundo. A abordagem consistia em combinar as informações de precipitação disponíveis de cada uma das várias fontes em um produto final mesclado, aproveitando os pontos fortes de cada tipo de dados. Tanto a primeira (HUFFMAN et al., 1997) quanto a segunda (ADLER et al., 2003) versão do GPCP apresentam dados mensais com resolução espacial de 2,5° (aproximadamente 278 km no Equador), disponibilizados a partir de 1979. Ao longo dos anos o GPCP vem sendo atualizado e utilizado para outros desenvolvimentos, como o 1DD (HUFFMAN et al., 2001) que representa a versão diária com resolução espacial de 1° (aproximadamente 111 km no Equador) do GPCP. Atualmente o GPCP está sob responsabilidade pela NASA (NASA, 2014).

O projeto TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), foi lançado no final da década dos anos 1990, tendo como objetivo o estudo e o monitoramento da precipitação nos trópicos. A partir do conjunto de dados dos diversos sensores a bordo do TRMM, as estimativas de precipitação são obtidas a partir de uma análise chamada TMPA, a qual utiliza informações do infravermelho e de micro-ondas juntamente com dados mensais da rede pluviométrica. O resultado é um produto com resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km no Equador) e resolução temporal de 3 horas (COLLISCHONN, 2006; HUFFMAN et al., 2007). Entretanto, em 31 de dezembro de 2019, os dados da TMPA foram descontinuados a partir da substituição pelos dados de outro projeto, o GPM (*Global Precipitation Measurement*) (NASA, 2020a).

O GPM é um projeto de parceria internacional incluindo múltiplas agências como a NASA, JAXA, EUMETSAT, NOAA, dentre outras. Além da constelação de satélites destas agências, o projeto conta com um outro satélite que foi lançado em 2014, o *GPM Core Observatory*. Equipado com um imageador de micro-ondas e um radar de precipitações de dupla frequência, este satélite foi desenvolvido para ser uma extensão do TRMM. A vantagem do *GPM Core Observatory*, que tem uma órbita inclinada a 65° do Equador, é sua capacidade de medir neve e precipitações de baixas intensidades, as quais representam uma significativa parcela das ocorrências de precipitações em regiões de latitudes mais altas (HONG et al., 2019; NASA, 2020a).

Dessa forma, com os inúmeros satélites do projeto GPM, foi desenvolvido o algoritmo IMERG para o processamento de todas as estimativas dos sensores de micro-ondas, infravermelho, rede pluviométrica e todos os demais estimadores de precipitação envolvidos na época do TRMM. O resultado é um mapa com resolução espacial de 0,10° (aproximadamente 11 km no Equador) e resolução temporal de 30 minutos (MUHAMMAD et al., 2020). Além disso, a partir de 16 de agosto de 2019, a NASA reprocessou os dados históricos do TRMM, disponibilizando uma versão refinada dos dados desde junho de 2000 (NASA, 2020b).

O MPE é um produto de taxa de precipitação em tempo real, proposto pela EUMETSAT em 1999, baseado na combinação de medições micro-ondas de satélites em órbitas polares com as imagens no infravermelho de sensores a bordo de satélites geoestacionários. O produto se mostrou de grande relevância na estimativa de precipitações convectivas em áreas com pouca cobertura de radares, como África e Ásia (DHIB et al., 2017).

Originalmente, as imagens do infravermelho do MPE eram obtidas do sensor MVIRI (*Meteosat Visible and Infrared Imager*) a bordo do Meteosat-7, e os dados de micro-ondas do sensor SSM/I (*Special Sensor Microwave/Imager*) a bordo do POES (*Polar Operational Environmental Satellites*), com resolução espacial de 5 km no Equador e resolução temporal de 30 minutos (HEINEMANN; LATTANZIO; ROVEDA, 2002; CALVETTI *et al.*, 2017). A partir de 2002, com o lançamento da segunda geração de satélites Meteosat, os dados do infravermelho começaram a ser obtidos a partir do sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*), melhorando a qualidade do produto que, atualmente, possui resolução temporal de 5 minutos e resolução espacial de 3 km no Equador (EUMETSAT, 2015, 2017; OSCAR, 2017).

Em 1997, foi desenvolvido o PERSIANN, um sistema de estimação de intensidades de precipitação projetado para ser capaz de extrair e combinar informações de dados de vários tipos, incluindo, por exemplo, imagens de satélites nas bandas do infravermelho e micro-ondas, pluviômetros e dados de radares meteorológicos, bem como informações topográficas da superfície do solo. O PERSIANN originalmente tinha resolução temporal de 1 hora e resolução espacial de 0,25° entre as latitudes 60°N e 60°S (HSU et al., 1997).

Mais tarde, em 2004, pesquisadores da Universidade da Califórnia em parceria com a NASA, NOAA e com o programa G-WAGI (*Global Network on Water and Development Information for Arid Lands*) da UNESCO aperfeiçoaram o sistema e apresentaram o PERSIANN-CCS (*Cloud Classification System*). Esse novo sistema permitiu a categorização das nuvens, tornando possível um refinamento tanto da estimativa de precipitação quanto da resolução espacial, que pode ser de 0,04°, aproximadamente 4 km no Equador (HONG *et al.*, 2004; CHRS, 2017).

Outro conjunto de dados referente ao PERSIANN foi a reconstrução de dados de satélite obtidos a partir do ano de 1983, chamado de PERSIANN-CDR (*Climate Data Record*). Este produto tem como objetivo suprir a necessidade de conjuntos de dados de precipitação consistentes, de longo prazo e de cobertura global para o desenvolvimento de estudos de mudanças climáticas, principalmente em termo de eventos extremos (ASHOURI et al., 2015; NGUYEN et al., 2018).

O CHIRPS é um produto desenvolvido em 2015 pela Universidade da Califórnia juntamente com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), baseado em abordagens de estimativas de precipitação anteriores, por exemplo, o TMPA. O CHIRPS interpola esses diversos produtos utilizando anomalias climatológicas através da técnica *Climatologically Aided Interpolation* (CAI), e incorpora dados de redes pluviométricas da Organização Meteorológica Mundial (WMO). Os dados resultantes, disponibilizados desde 1981 até a atualidade, cobrem as latitudes entre 50°N e 50°S com resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5,5 km no Equador) e resolução temporal de 1 dia (FUNK et al., 2015; SILVA et al., 2020).

Joyce *et al.* (2004) apresentaram o CMORPH, um método que utiliza as estimativas de precipitação de sensores passivos de micro-ondas que são posteriormente propagadas espacialmente por informações obtidas de dados no infravermelho. Não se trata de uma técnica que estima precipitações, mas sim uma forma pela qual as estimativas de precipitação por micro-ondas já existentes podem ser combinadas. Em termos de cobertura, fornece estimativas entre as latitudes 60°N e 60°S, com resolução espacial de 8 km no Equador e resolução temporal de 30 minutos, disponibilizando dados a partir de 2002 (JOYCE et al., 2004).

A TABELA 3 apresenta um resumo das características dos produtos anteriormente apresentados:

Produto	Agência / Instituição	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Período
GPCP	WCRP	278 km	1 mês	1979 - Atual
GPCP-1DD	NASA	111 km	1 dia	1996 - Atual
TMPA	NASA	27 km	3 horas	1998 - 2019
IMERG	NASA	11 km	30 minutos	2000 - Atual
MPE	EUMETSAT	3 km	5 minutos	2000 - Atual
PERSIANN	Universidade do Arizona	27 km	1 hora	2000 - Atual
PERSIANN-CCS	Universidade da Califórnia	4 km	1 hora	2003 - Atual
PERSIANN-CDR	Universidade da Califórnia	27 km	1 dia	1983 - Atual
CHIRPS	Universidade da Califórnia	5,5 km	1 dia	1981 - Atual
CMORPH	NOAA	8 km	30 minutos	2002 - Atual

TABELA 3 - RESUMO DE ALGUNS PRODUTOS DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÕES

FONTE: O Autor (2021)

Embora os produtos supracitados sejam muito convenientes por apresentarem estimativas de precipitação em escala global, ainda assim é significativa e necessária a sua devida avaliação nas diferentes regiões do planeta. Por exemplo, Huffman *et al.* (2007) e Rozante *et al.* (2010) destacam que os sensores de micro-ondas utilizados no TMPA possuem pouca sensibilidade ao obter informações de

sistemas atmosféricos mais quentes sobre os continentes, como por exemplo a região Nordeste brasileira, resultando em taxas de precipitação subestimadas. Rozante e Cavalcanti (2008) observaram valores superestimados de precipitação do TMPA na bacia do Prata, e associaram a diferença ao fato de que, devido aos efeitos atmosféricos, as nuvens são mais altas e frias nesta região, induzindo o algoritmo a contabilizar mais chuva que o realmente observado.

Na literatura existem diversos trabalhos que comparam os diversos produtos de estimativa de precipitação, sendo possível notar diferentes desempenhos para cada um deles.

Ao comparar as estimativas do TMPA e do PERSIANN em relação à rede pluviométrica de regiões no Oriente Médio, Moazami *et al.* (2013) e Katiraie-Boroujerdy *et al.* (2017) concluíram que, apesar de superestimações e subestimações em algumas localidades, o TMPA performou melhor que o PERSIANN. Suliman *et al.* (2020) também alcançaram resultados superiores com o TMPA na avaliação de secas no Iraque. Por outro lado, Abro *et al.* (2020) obtiveram melhores representações de cheias na bacia do Rio Indo por meio de modelagem com as estimativas de precipitação do PERSIANN que com os dados do TMPA.

Ao incluir o CMORPH na avaliação dos produtos de precipitação, Sultana e Nasrollahi (2018) concluíram que este produto melhor estimou a chuva sobre a Arábia Saudita se comparado com o TMPA e o PERSIANN.

Derin e Yilmaz (2014) avaliaram amplamente diversos produtos de estimativa de precipitações em regiões da Turquia, espacial e temporalmente. Suas investigações apontaram para um melhor desempenho do TMPA para chuvas intensas e do MPE para eventos menos críticos, além de resultados não muito satisfatórios com o CMORPH. No trabalho de Prakash e Curtis (2012), que comparou dados para uma bacia no sudeste dos Estados Unidos, as estimativas do MPE e do CMORPH foram as melhores e as piores, respectivamente.

Em relação ao produto CHIRPS, segundo Gao *et al.* (2018), há uma melhor correlação entre as estimativas de precipitação do produto e as medições da rede pluviométrica no nordeste da China. Além disso, Musie, Sen e Srivastava (2019) obtiveram melhores resultados na modelagem de vazões com o CHIRPS nas bacias hidrográficas da Etiópia.

Neste contexto, é comum o uso de metodologias que assimilem os dados de produtos de precipitação globais e utilizem outras fontes de informações para melhor representar os fenômenos regionais e locais.

No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climatológicos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu uma metodologia para combinar os dados do TMPA com dados de pluviômetros da América do Sul, chamada MERGE, que se mostrou bastante eficaz em regiões onde a densidade da rede pluviométricas era baixa (ROZANTE et al., 2010). No que se refere à rotina dos centros de operação, os autores enfatizaram a importância prática de técnicas ágeis e eficientes na combinação de dados de satélite e observações terrestres.

No Paraná, o Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar) utiliza o Sistema Integrado de Estimativa de Chuvas (Siprec), descrito por Calvetti et al. (2017), o qual será apresentado a seguir.

2.2.3 O Sistema Integrado de Estimativas de Chuvas (Siprec)

As estações hidrológicas e radares meteorológicos no Brasil estão concentrados na porção leste do país, com uma diminuição drástica na densidade da rede em direção ao centro do continente (ROZANTE et al., 2010).

Ferreira *et al.* (2017) elaboraram um diagnóstico da cobertura hidrometeorológica do monitoramento de eventos hidrológicos no Brasil (FIGURA 15), considerando instrumentos capazes de observar fenômenos atmosféricos dentro de um raio de até 250 km. Os autores consideraram que estações meteorológicas são capazes de monitorar sistemas atmosféricos dentro de um raio de até 100 km, quando se trata de sistemas sinóticos, que são fenômenos de grandes dimensões e longa duração. Por outro lado, na observação de sistemas menores, os autores adotaram um raio de 10 km ou menos, seguindo orientações da Organização Mundial de Meteorologia.

A partir desse diagnóstico é possível confirmar as afirmações de Rozante *et al.* (2010) e verificar que as regiões que apresentam maior cobertura em ambos os sistemas atmosféricos são as regiões Sul e Sudeste, além de que o Estado do Paraná possui cobertura em todo seu território.



FIGURA 15 – ÁREAS COM COBERTURA HIDROMETEOROLÓGICA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

FONTE: Adaptado de Ferreira et al. (2017).

A Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável pela coordenação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), um sistema que possui estações que monitoram parâmetros relacionados aos rios e outros que monitoram principalmente as chuvas. Além das estações operadas por entidades parceiras ou contratadas pela ANA, também são integrantes da RHN as estações mantidas pelos Estados.

De acordo com ANA (2018), em 2018 havia 907 estações pluviométricas ativas no Paraná, das quais 23 estavam sob operação e responsabilidade do Simepar. No entanto, a rede hidrometeorológica da instituição não se restringe apenas a essas estações: no mesmo ano, o Simepar registrava em seu banco de dados informações de um total de 1581 estações em diversos estados brasileiros, das quais 408 estavam no Paraná. Uma parte dessas estações estaduais não integram o RHN, e outra parte está sob responsabilidade de outros órgãos estaduais.

Com o diferencial de possuir uma ampla rede de estações de monitoramento, pesquisadores do Simepar desenvolveram o Sistema Integrado de Estimativas de Chuvas (Siprec), que integra os dados da rede de estações locais com as estimativas de precipitação do produto MPE da EUMETSAT e de radares meteorológicos. O objetivo era obter estimativas de precipitação mais precisas para as bacias do Paraná, apresentadas em um gradeamento com resolução espacial de até 1 km² e resolução temporal de 1 hora (CALVETTI et al., 2017).

A FIGURA 16 apresenta a distribuição espacial das 155 estações pluviométricas automáticas e dos 4 radares utilizados no Siprec. Os triângulos coloridos são as estações utilizadas para a validação do sistema, e os círculos representam o raio de cobertura (240 km) dos radares de Presidente Prudente e Bauru (do IPMet/Unesp) e Cascavel e Teixeira Soares (Simepar).



Estação pluviométrica automática
 Estações utilizadas para validação do sistema
 Raio de cobertura dos radares (240km)

FONTE: Calvetti et al. (2017)

Calvetti et al. (2017) utilizaram uma metodologia de controle de qualidade de dados telemétricos horários que faz uso de uma análise climatológica, utilizando informações de outros tipos de sensores da própria estação e de estações vizinhas. Em relação aos dados provenientes dos radares, o Siprec utiliza funções que processam adequadamente as regiões de intersecção de cobertura, e também funções que eliminam de forma eficiente os desvios nos ecos dos sinais causados pela topografia.

Além disso, Calvetti et al. (2017) utilizaram uma relação bastante tradicional para a estimativa de precipitação a partir de dados de radares. A relação exponencial

Z-R de Marshall-Palmer, representada pela equação (2), é uma formulação empírica que estabelece uma associação entre a refletividade medida pelo radar e a taxa de precipitação.

$$Z = aR^b \tag{2}$$

sendo: Z (dBz) a refletividade; R (mm/h) a taxa de precipitação; a e b parâmetros de ajuste que são baseados no trabalho de Santos (2014).

O algoritmo de integração dos dados utilizado é uma solução numérica da equação de Poisson, descrita em Calvetti et al. (2017). Os autores elencam como uma das vantagens a rapidez na execução do algoritmo e seu baixo custo computacional, beneficiando seu uso em ambientes operacionais. Outro aspecto é seu caráter modular, existindo a possibilidade de usar dois conjuntos de dados (satélite e radar), ou apenas um deles se necessário.

A FIGURA 17 apresenta o resultado do Siprec (à direita) para o acumulado mensal do mês de junho de 2014 em comparação com a interpolação dos dados da rede pluviométrica (à esquerda). É possível observar que o Siprec distribuiu os altos valores de precipitação observados nas estações pluviométricas, e aumentando a amplitude ao integrar os dados do MPE e dos radares meteorológicos.



FIGURA 17 - ACUMULADO MENSAL (mm) PARA O MÊS DE JUNHO DE 2014

A imagem da esquerda corresponde ao acumulado mensal interpolado das estações pluviométricas, enquanto a imagem da direita as do Siprec.

FONTE: Calvetti et al. (2017)

A diferença na distribuição da precipitação pode impactar a modelagem hidrológica, principalmente em bacias hidrográficas cujas vazões são bastante sensíveis ao volume precipitado. Além disso, Calvetti et al. (2017) ainda enfatizam que o Siprec, por utilizar como condição de contorno a rede pluviométrica, depende fortemente da qualidade dos dados de satélite e radar em áreas que não tenham uma boa densidade de monitoramento convencional. Assim, o Siprec é uma técnica que apresenta melhores resultados quando todas as fontes possam ser utilizadas complementar e simultaneamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a descrição da metodologia utilizada para avaliar o Sistema Integrado de Estimativa de Chuvas (Siprec), um produto desenvolvido no Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (Simepar) por Calvetti et al. (2017), como forçante de um modelo hidrológico. Um diagrama contendo as etapas metodológicas é ilustrado na FIGURA 18.

A seguir serão descritos, primeiramente, a delimitação do tema e a área de estudo. Em um segundo momento, será apresentado o modelo semi-distribuído MGB-IPH, sua estrutura e equações. Em seguida, as fontes de dados utilizadas no modelo e o processo de consistência, quando aplicado. Na sequência, a apresentação dos algoritmos do processamento prévio de dados para alimentar o modelo, bem como os algoritmos de calibração. Finalmente, o processo de modelagem e sua validação é descrito seguido das análises de resultados.

3.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A pesquisa inicia com o objetivo de responder a seguinte pergunta: "Qual o impacto no desempenho de um modelo hidrológico dada a utilização de um dado de precipitação com uma melhor representação espacial?". A hipótese, já apresentada na seção introdutória deste trabalho, é que os resultados das simulações sejam equivalentes ou melhores do que quando se utilizam dados apenas da rede convencional.

A delimitação do tema consistiu primeiramente em uma pesquisa nos principais periódicos em busca de trabalhos que se propuseram a avaliar produtos de precipitação. As ferramentas de busca utilizadas foram o *Scopus* e o *Google Scholar*, e os termos utilizados foram: "modelo hidrológico", "precipitação", "satélite", "radar", "calibração", "simulação" e "vazão", e suas respectivas traduções em inglês.

O levantamento e a seleção de trabalhos publicados visam melhorar a caracterização da temática para elaboração da revisão bibliográfica, bem como uma consulta acerca dos métodos de análise de resultados.



FIGURA 18 - ETAPAS METODOLÓGICAS DESTE TRABALHO

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O rio Iguaçu é o maior rio totalmente paranaense e um dos principais afluentes do curso médio do rio Paraná. Desde suas nascentes, próximas à cidade de Curitiba, até sua foz, no rio Paraná, segue um curso de 1320 km, cruzando os três planaltos paranaenses e drenando uma área de aproximadamente 70800 km², apresentada na FIGURA 19. Localiza-se entre os paralelos 25° 00' e 27° 00' de latitude sul e os meridianos 54° 30' e 49° 00' de longitude oeste, apresentando chuvas bem distribuídas ao longo do ano e clima subtropical úmido. O relevo da bacia do rio Iguaçu é bastante variado, sendo seu desnível total de 830 m, desde a nascente (de altitude 908 m) a sua foz (de altitude 78 m), com direção de leste a oeste (SEMA, 2010; BAUMGARTNER *et al.*, 2012).



FONTE: O autor (2021)

Segundo Mine e Tucci (1999), uma característica interessante do rio Iguaçu é a existência de vales amplos e de baixa declividade na porção mais à montante, o que proporciona boas possibilidades de armazenamento, seguindo-se de vales rochosos estreitos e declividades mais acentuadas na porção média e mais à jusante, com quedas concentradas, propiciando bons locais para barramento. Estes aspectos tornam o rio Iguaçu particularmente atraente para a implantação de aproveitamentos hidrelétricos

Assim, a bacia do rio Iguaçu foi escolhida por dispor de um grande monitoramento hidrometeorológico e, por isso, ter grande documentação na literatura. Além disso, ao longo da bacia, estão instalados nove empreendimentos hidrelétricos que integram o Sistema Interligado Nacional (SIN), fato que evidencia a importância da modelagem hidrológica para a operação dos reservatórios da região.

Outro importante aspecto da escolha da área de estudo é um sistema em operação no Simepar chamado Sistema de Previsão e Simulação Hidrológica (SISPSHI), que disponibiliza previsões para 21 pontos da bacia em um horizonte de 5 dias à frente, atualizado a cada 6 horas. Além dos modelos hidrológicos que já integram o sistema, que são o Sacramento (BURNASH, 1995⁷ apud SILVEIRA *et al.*, 2020) e 3R (GUETTER, 1999), o MGB-IPH poderia ser um candidato para tornar o SISPISH mais robusto, uma vez que existe um princípio de aprimoramento contínuo dos modelos dentro da instituição.

3.3 FONTE DE DADOS

Este item descreve os dados utilizados na aplicação do modelo hidrológico MGB-IPH na simulação de vazões na bacia do rio Iguaçu. Eles foram divididos em quatro categorias: dados pluviométricos, dados fluviométricos, dados climáticos e dados de informações espaciais.

As informações referentes às séries históricas de chuva e vazão passaram por processo de consistência, ainda que tenham sido obtidas de bancos de dados consistidos. O processo de consistência foi tanto visual, com o objetivo de identificar dados espúrios ou a falta de continuidade das séries, quanto computacional, para remoção dos dados espúrios das séries. Além disso, foram necessários códigos de

⁷ BURNASH, R.J.C. The NWS River Forecast System – Catchment Modeling. Em: Vijay P. Singh (ed.), Computer models of watershed hydrology. Highlands Rancha: Water Resources Publications, Colorado, 1995. p. 311-366.
programação em linguagem Python para a adequação do formato dos dados para o formato do modelo MGB-IPH.

3.3.1 Dados pluviométricos

Duas fontes de dados de precipitação foram utilizadas como forçantes do modelo MGB-IPH: os totais acumulados diários das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), no período de 1998 a 2020 (22 anos); e as estimativas de precipitação diária do Siprec, com uma resolução espacial de 10 km x 10 km, no período de 2017 a 2020 (4 anos).

Com relação às estações pluviométricas, foram selecionadas para calibração tradicional do modelo aquelas que dispunham de telemetria ativa localizadas em latitudes entre 24°54'S e 26°54'S e longitudes entre 48°54'O e 54°30'O, correspondendo a uma região na qual a bacia do rio Iguaçu está inserida. Foram utilizadas 52 estações, das quais 32 estações são monitoradas pelo Simepar e, por isso, seus dados foram obtidos do banco de dados do Simepar, e as 20 restantes obtidas do banco interno do MGB-IPH cujos dados são provenientes das séries de dados consistidos da ANA. A FIGURA 20 ilustra a distribuição das estações pluviométricas e a relação completa é apresentada no ANEXO 1.



FONTE: O Autor (2021)

Em relação aos dados do Siprec, os 5571 arquivos se encontravam no formato NetCDF (*Network Common Data Form*), totalizando aproximadamente 147 gigabytes de informação, divididos em dados em escala horária ou diária. A manipulação destes arquivos foi executada por meio de script em linguagem de programação Python, que acessava cada um dos arquivos de forma sequencial, construindo assim a série temporal de dados para determinada localidade.

Através do processamento destes arquivos, que levou aproximadamente 18 dias, foi possível extrair as estimativas de precipitação para o centro de cada célula, que foram denominadas de "estações virtuais". Ao todo, foram selecionadas 1261 estações virtuais ao longo da bacia do rio Iguaçu, como indicado na FIGURA 21.



FONTE: O Autor (2021)

3.3.2 Dados fluviométricos

Foram utilizadas séries diárias de vazões obtidas nas seções de medição de 23 estações fluviométricas, obtidas do banco do Simepar e da Companhia Paranaense de Energia (Copel), e 6 séries de vazões naturais afluentes aos reservatórios, obtidas por meio do Portal SINtegre do Operador Nacional do Sistema (ONS). As séries contemplam o período de 1998 a 2020 (22 anos). A FIGURA 22

apresenta a distribuição dos 29 pontos com disponibilidade de dados de vazão, dos quais 21 (1 ao 21) correspondem aos pontos de previsão e simulação em operação no SISPSHI. A relação completa das estações está disponível no ANEXO 1.



FONTE: O Autor (2021)

3.3.3 Dados climáticos

Os dados de clima utilizados foram as normais climatológicas mensais publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019). As variáveis utilizadas no modelo MGB-IPH para o cálculo da evapotranspiração são: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação.

Inicialmente, as estações selecionadas foram aquelas que apresentaram normais climatológicas para as cinco variáveis simultaneamente no período mais atualizado de dados disponíveis, compreendendo os anos de 1981 a 2010. Foram selecionadas sete estações, no entanto a cobertura não se mostrava satisfatória.

Por isso, foram levantadas as normais climatológicas anteriores, referentes ao período de 1961 a 1990, para estações que complementassem a cobertura espacial da bacia do rio Iguaçu. Todas as estações selecionadas estão apresentadas na TABELA 4 e sua distribuição espacial ilustradas na FIGURA 23.

Código	Latitude	Longitude	Nome	Estado	Período
83783	-24.0500	-52.3667	CAMPO MOURAO	PR	1981 – 2010
83813	-24.7833	-50.0000	CASTRO	PR	1981 – 2010
83842	-25.4333	-49.2667	CURITIBA	PR	1981 – 2010
83811	-25.0000	-50.8500	IVAI	PR	1981 – 2010
83887	-27.3842	-51.2008	CAMPOS NOVOS	SC	1981 – 2010
83883	-27.0853	-52.6356	CHAPECO	SC	1981 – 2010
83872	-26.9000	-49.2167	INDAIAL	SC	1981 – 2010
83826	-54.5670	-25.5500	FOZ DO IGUAÇU	PR	1961 – 1990
83828	-53.7330	-24.4000	TOLEDO	PR	1961 – 1990
83860	-51.9830	-26.4830	PALMAS	PR	1961 – 1990
83834	-51.4670	-25.4000	GUARAPUAVA	PR	1961 – 1990
83864	-51.0670	-26.2330	PORTO UNIÃO	SC	1961 – 1990
83865	-50.8000	-26.2500	IRIENÓPOLIS	SC	1961 – 1990
83836	-50.6330	-25.4670	IRATI	PR	1961 – 1990
83025	-50.3830	-25.8670	SÃO MATEUS DO SUL	PR	1961 – 1990
83867	-49.8000	-26.1000	RIO NEGRO	PR	1961 – 1990

TABELA 4 – ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS



FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS

FONTE: O Autor (2021)

3.3.4 Dados de informações espaciais

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado foi obtido a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução espacial de

FONTE: O Autor (2021)

aproximadamente 90 metros, disponibilizados gratuitamente pelo Grupo Consultivo de Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR, 2019).

Para a cobertura da bacia do rio Iguaçu foram necessários três quadros de imagens (srtm_26_17, srtm_26_18 e srtm_27_18), conforme indicado na FIGURA 24. Esses quadros foram unidos e uma região próxima ao rio Iguaçu foi recortada, para servir de base para os processamentos posteriores.



FIGURA 24 – QUADROS STRM UTILIZADOS PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU

FONTE: O Autor (2021)

Outro dado de informação espacial necessário é o que diz respeito à construção do mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URHs). Este mapa é obtido a partir da combinação de outros mapas, como o de tipo e de uso do solo.

Neste trabalho, optou-se por fazer uso de um mapa disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) que cobre toda a América do Sul (HGE, 2019), cujo uso se mostrou satisfatório na simulação hidrológica, como indica o trabalho de Fan, Buarque e Pontes (2015). A partir da combinação de informações de tipo de solo (ano de 2003) e uso do solo (ano de 2009), o mapa define 9 URHs distintas, como indica a FIGURA 25, e sua resolução espacial é de 400 metros.



FIGURA 25 – COMBINAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE TIPO DO SOLO E USO DO SOLO PARA GERAÇÃO DE URHS

FONTE: O Autor (2021)

Na FIGURA 26 é apresentado o mapa de URHs para a bacia do rio Iguaçu. A maior parte da área (53,4%) é coberta por florestas, com predominância destas em solo raso. A concentração deste tipo de cobertura é mais expressiva na porção centro-leste da bacia hidrográfica e também no extremo oeste, onde está localizado o Parque Nacional do Iguaçu. Já a agricultura (28.1%) e campo (13.9%) estão mais presentes na região centro-leste, e as demais URHs representam apenas 4.5% somadas.





3.4 O MODELO DE GRANDES BACIAS (MGB-IPH)

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), descrito em Collischonn (2001), Collischonn e Tucci (2001) e Collischonn *et al.* (2007), é um modelo semi-distribuído desenvolvido para a aplicação em bacias de grande escala, baseado em equações físicas e conceituais, que simulam os processos do ciclo hidrológico. Tais processos incluem o balanço hídrico no solo, a evapotranspiração, a

interceptação, a geração e propagação de escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo nos elementos de discretização da bacia hidrográfica, e a propagação de vazão na rede de drenagem.

Em sua versão inicial, a representação da bacia era feita a partir de gradeamento, onde as células em grade eram interligadas por canais de drenagem. A partir da integração de técnicas de geoprocessamento, a discretização do modelo passou a ser feita por sub-bacias, que são posteriormente divididas em unidades menores denominadas minibacias, as quais são definidas pela confluência entre dois trechos de drenagem ou pelo comprimento do trecho à escolha do usuário. As minibacias ainda são subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológica (URHs), resultantes da combinação de uso do solo, cobertura vegetal e tipo do solo, e que representam áreas com comportamento hidrológico similar. Assim, a área total de cada minibacia é composta por frações de URHs, conforme ilustrado na FIGURA 27.



FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DA DISCRETIZAÇÃO DA MINIBACIA EM URH

Os processos hidrológicos são representados no modelo por fluxos verticais e horizontais no interior de cada elemento de discretização, ilustrado na FIGURA 28. O balanço de água vertical é realizado em cada URH para cada minibacia. Os volumes de escoamentos gerados em cada URH são então propagados para a rede de drenagem com a utilização de reservatórios lineares simples e, uma vez na rede de drenagem, podem ser propagados tanto pelo método de Muskingum-Cunge quanto por um modelo hidrodinâmico desenvolvido por Paiva (2009).

FONTE: Meller (2012)

FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO DO MODELO MGB-IPH PARA UMA UNIDADE DE RESPOSTA HIDROLÓGICA



FONTE: Adaptado de Collischonn (2001)

A seguir serão apresentadas as descrições dos processos verticais e horizontais do modelo MGB-IPH, baseada nas descrições de Collischonn (2001), Paiva (2009) e Buarque (2015).

3.4.1 Processos hidrológicos verticais

Interceptação

A interceptação é a primeira etapa do balanço hídrico da camada superficial do solo. Ela representa o processo de retenção de água da chuva pela vegetação antes da sua chegada à superfície do solo, sendo função da densidade da vegetação. O modelo MGB-IPH foi estruturado à semelhança de diversos outros modelos, como o VIC-2L e o LARSIM, nos quais a interceptação é considerada função do Índice de Área Foliar (IAF), que expressa a relação entre a área total das folhas da vegetação e a área superficial do solo. É um parâmetro que pode ser medido, seu valor depende do tipo da vegetação, e pode variar ao longo do tempo em casos de cultura agrícola.

A equação (3) expressa a relação entre a capacidade máxima do reservatório de interceptação e o IAF:

$$S_{max_i} = a \times IAF_j \tag{3}$$

sendo: S_{max_j} é o volume máximo de interceptação [mm]; o IAF_j é o Índice de Área Foliar [m.m⁻¹] da URH *j* de uma minibacia; e *a* é o parâmetro da lâmina de interceptação [mm], cujo valor é fixo.

O balanço hídrico no reservatório de interceptação, é feito a partir das equações (4), (5), (6) e (7).

$$S_{i,j}^{t+1} = \min(S_{i,j}^{t} + PC_i, S_{max_j})$$
(4)

$$P_{i,j} = PC_i - (S_{i,j}^{t+1} - S_{i,j}^t)$$
(5)

$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^{t+1} - EI_{i,j}$$
(6)

$$EI_{i,j} = \min(S_{i,j}^{t+1}, EPI_{i,j})$$

$$\tag{7}$$

sendo: $S_{i,j}$ a lâmina de água interceptada [mm]; PC_i é a precipitação no topo da cobertura vegetal [mm]; $P_{i,j}$ é a precipitação que atinge o solo [mm]; $EI_{i,j}$ é a evaporação real da lâmina interceptada [mm]; $EPI_{i,j}$ é a evaporação potencial da lâmina interceptada [mm], calculada pela equação de Penman-Monteith com o parâmetro de resistência superficial igual a zero. Os índices t e t + 1 indicam o início e o fim do intervalo de tempo, respectivamente; *i* indica a minibacia e *j* representa a URH desta minibacia.

Balanço hídrico no solo

O balanço da água no solo, calculado pelo modelo para cada URH *j* da minibacia *i*, é descrito pela equação (8):

$$W_{i,j}^{t+1} = W_{i,j}^{t} + (P_{i,j} - ET_{i,j} - Dsup_{i,j} - Dint_{i,j} - Dbas_{i,j} + Dcap_{i,j})$$
(8)

sendo: $W_{i,j}$ o armazenamento de água na camada superficial do solo [mm]; $P_{i,j}$ é a parcela da precipitação que atinge a superfície do solo [mm], definida pela equação (5); $ET_{i,j}$ é a evapotranspiração da água no solo [mm]; $Dsup_{i,j}$ é o escoamento superficial [mm]; $Dint_{i,j}$ é o escoamento subsuperficial ou interno [mm]; $Dbas_{i,j}$ é o escoamento subterrâneo [mm]; e $Dcap_{i,j}$ é o escoamento ascendente do ao solo [mm].

Evapotranspiração

O modelo MGB-IPH utiliza a equação de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração, conforme Shuttleworth (1993)⁸ citado por Collischonn (2001). Segundo Paiva (2009), esta formulação considera que a planta consegue utilizar toda a energia disponível (resultante de um balanço de fluxos de radiação) para a evaporação, e que a difusão do vapor d'agua para fora das folhas e para a atmosfera é dificultada pelas resistências superficial e aerodinâmica, respectivamente.

A equação (9) descreve o cálculo da evapotranspiração, a qual utiliza dados meteorológicos e parâmetros relativos às características aerodinâmicas e dos estômatos das plantas.

$$ET = \frac{f_c}{\lambda \times \rho_w} \times \left[\frac{\Delta \times (S_n - L_n - G) + \rho_a \times c_p \times \left(\frac{e_s - e_d}{r_a}\right)}{\Delta + \gamma \times \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right]$$
(9)

sendo: *ET* a taxa de evaporação da água [mm.dia⁻¹]. λ é o calor latente de vaporização [MJ.kg⁻¹]; ρ_w é a massa específica da água, igual a 1000 kg.m⁻³; Δ é o gradiente da pressão de saturação do vapor em relação à temperatura [kPa.°C⁻¹]; S_n é a radiação líquida de onda curta [MJ.m⁻².s⁻¹]; L_n é a radiação líquida de onda longa [MJ.m⁻².s⁻¹]; G é o fluxo de energia para o solo [MJ.m⁻².s⁻¹]; ρ_a é a massa específica do ar [kg.m⁻³];

⁸ SHUTTLEWORTH, W. J. 1993. Evaporation. In: Maidment, D. R. (Ed.), **Handbook of hydrology**, McGraw-Hill, New York.

 c_p o calor específico do ar úmido, igual a 1,013 MJ.kg⁻¹.°C⁻¹; e_s é a pressão de saturação do vapor [kPa]; e_d é a pressão do vapor [kPa]; γ é a constante psicrométrica, igual a 0,66 kPa.°C⁻¹; r_a é a resistência aerodinâmica [s.m⁻¹]; r_s é a resistência superficial da vegetação [s.m⁻¹]; e f_c é um fator de conversão de unidades, igual a 3,6.10⁻⁶.

A energia disponível para a evapotranspiração é primeiramente utilizada para evaporar o volume de água interceptado, sendo o restante da energia, se ainda houver, disponível para atender a transpiração da vegetação.

A evaporação potencial, *EPI*, é calculada utilizando a equação (9), considerando a resistência superficial nula e a resistência aerodinâmica dependente da velocidade do vento e da altura média da vegetação.

Um detalhamento sobre o cálculo da evapotranspiração, do balanço de energia, das resistências aerodinâmica e superficial, bem como a relação da evapotranspiração e da umidade do solo pode ser encontrada em Collischonn (2001).

Escoamento superficial

O escoamento superficial gerado em cada URH é o escoamento que chega rapidamente à rede de drenagem, chamado de "escoamento direto". O modelo MGB-IPH procura reproduzir o comportamento não linear da bacia hidrográfica em resposta às precipitações através de uma relação entre o armazenamento na camada superficial e a porcentagem de área saturada, expressa pela equação (10):

$$X = 1 - \left(1 - \frac{W}{W_m}\right)^{\frac{b}{b+1}}$$
(10)

sendo: *X* a fração da área que está saturada; *W* é o volume de água armazenada no solo [mm]; W_m é um parâmetro do modelo que representa a capacidade máxima de armazenamento no solo para o HRU [mm]; *b* é um parâmetro adimensional que define o grau de heterogeneidade da capacidade de armazenamento de água no solo, cujo efeito é ilustrado na FIGURA 29.

FIGURA 29 - EFEITO DO PARÂMETRO "b" NA RELAÇÃO ENTRE O ARMAZENAMENTO NA CAMADA SUPERFICIAL E A PORCENTAGEM DE ÁREA SATURADA



FONTE: O Autor (2021)

O escoamento superficial Dsup entre dois passos de tempo consecutivos índices t - 1 e t é obtido para cada URH j da minibacia i pelas expressões (11), (12) e (13):

$$Dsup_{i,j} = P_{i,j} \times \Delta t - (Wm_j - W_{i,j}^{t-1}), \quad A \le 0$$
 (11)

$$Dsup_{i,j} = P_{i,j} \times \Delta t - (Wm_j - W_{i,j}^{t-1}) + Wm_j \times A^{b+1}, \quad A > 0$$
(12)

$$A = \left[\left(1 - \frac{W_{i,j}^{t-1}}{Wm_j} \right)^{\frac{b}{b_j+1}} - \frac{P_{i,j} \times \Delta t}{Wm_j \times (b_j + 1)} \right]$$
(13)

sendo: $Dsup_{i,j}$ o escoamento superficial [mm]; $P_{i,j}$ é a precipitação efetiva que chega à superfície do solo [mm]; A é um limite que expressa a capacidade da precipitação em saturar toda a área da minibacia.

Um detalhamento sobre a formulação da equação de armazenamento de água no solo e escoamento superficial, bem como exemplos do comportamento da mesma em função de seus parâmetros pode ser encontrada em Collischonn (2001).

Escoamento subsuperficial

O modelo MGB-IPH considera o escoamento subsuperficial (ou interno) como aquele mais lento que o superficial, porém mais rápido que o subterrâneo. Para descrever este escoamento, o modelo utiliza uma relação não-linear com relação à umidade do solo, considerando que a taxa de drenagem subsuperficial do solo é maior quando o mesmo está próximo da saturação, e menor quando mais seco. A equação (14) descreve o cálculo de *Dint* para cada URH *j* da minibacia *i*:

$$Dint_{i,j} = Kint_j \times \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - Wz_j}{Wm_j - Wz_j}\right)^{3 + \frac{2}{\lambda_j}}$$
(14)

sendo: $Dint_{i,j}$ o volume de escoamento subsuperficial [mm]; $Kint_j$ é um parâmetro de drenagem subsuperficial [mm.dia⁻¹]; Wz_j é o limite mínimo de armazenamento de água no solo, a partir do qual haverá geração de escoamento superficial [mm]; e λ_j é um índice adimensional que representa a porosidade do solo.

Escoamento subterrâneo

O volume percolado ao aquífero é calculado pelo modelo em cada intervalo de tempo por uma relação linear do volume de água armazenado no solo. A equação (15) expressa o cálculo de *Dbas* para cada URH *j* da minibacia *i*:

$$Dbas_{i,j} = Kbas_j \times \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - Wc_j}{Wm_j - Wc_j}\right)$$
(15)

sendo: $Dbas_{i,j}$ o volume percolado ao aquífero [mm]; $Kbas_j$ é um parâmetro que define a máxima percolação quando o solo está saturado [mm.dia⁻¹]; e Wc_j é o limite mínimo de armazenamento de água no solo a partir do qual não há percolação [mm].

Fluxo ascendente

O modelo MGB-IPH é capaz de simular situações em que as águas subterrâneas voltem a ser disponibilizadas para evapotranspiração nas zonas não saturadas do solo. Este movimento ascendente ocorre por diferença de potencial em situações de baixo nível de umidade na camada do solo, e este fluxo ascendente é determinado pela equação (16) para cada URH *j* da minibacia *i*:

$$Dcap_{i,j} = \left(\frac{Wc_j - W_{i,j}^{t-1}}{Wc_j}\right) \times DMcap_j$$
(16)

sendo: $Dcap_{i,j}$ o volume de retorno gerado pelo fluxo ascendente [mm]; Wc_j é o limite máximo de armazenamento de água no solo para haver fluxo ascendente [mm]; e $DMcap_j$ é o máximo fluxo ascendente do solo [mm].

3.4.2 Processos hidrológicos horizontais

Os termos $Dsup_{i,j}$, $Dint_{i,j}$ e $Dbas_{i,j}$, definidos anteriormente, referem-se à produção dos volumes que escoam superficialmente, pelo solo e pelo aquífero, respectivamente. Estes escoamentos não atingem instantaneamente a rede de drenagem, mas sofrem retardo e amortecimento no interior de cada minibacia, que são executados por três reservatórios lineares. As equações (17), (18) e (19) descrevem os volumes armazenados nos três reservatórios:

$$Vsup_{i} = Vsup_{i}^{t-1} + \sum_{j=1}^{N_{URH}} (1000 \times Dsup_{i,j} \times A_{i,j})$$
(17)

$$Vint_{i} = Vint_{i}^{t-1} + \sum_{j=1}^{N_{URH}} (1000 \times Dint_{i,j} \times A_{i,j})$$
(18)

$$Vbas_{i} = Vbas_{i}^{t-1} + \sum_{j=1}^{N_{URH}} (Dbas_{i,j} - Dcap_{i,j}) \times 1000 \times A_{i,j}$$
 (19)

sendo: $Vsup_i$, $Vint_i$ e $Vbas_i$ os volumes nos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo na minibacia *i*, respectivamente [m³]; $A_{i,j}$ é a área da URH *j* [km²]; e N_{URH} é o número de URHs existentes na minibacia considerada.

A vazão de saída de cada reservatório é computada como uma função linear do armazenamento e do tempo de concentração da minibacia, descrita pelas equações (20), (21) e (22).

$$Qsup_i = \frac{1}{TKS_i} \times Vsup_i$$
⁽²⁰⁾

$$Qint_i = \frac{1}{TKI_i} \times Vint_i$$
(21)

$$Qbas_i = \frac{1}{TKB_i} \times Vbas_i \tag{22}$$

sendo: $Qsup_i$, $Qint_i$ e $Qbas_i$ as vazões de saídas dos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo na minibacia *i*, respectivamente [m³.s⁻¹]; *TKS_i*, *TKI_i* e *TKB_i* são os tempos de retardo dos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo, respectivamente [s].

Os valores de TKS_i e TKI_i são obtidos em função do tempo de concentração da minibacia, como descrito pelas equações (23) e (24):

$$TKS_i = CS \times Tc_i \tag{23}$$

$$TKI_i = CI \times Tc_i \tag{24}$$

sendo: *CS* e *CI* parâmetros calibráveis do modelo; Tc_i é o tempo de concentração [s] da minibacia *i* calculado pela fórmula de Kirpich, expressa na equação (25):

$$Tc_i = 239,04 \times \frac{L_i^{0.77}}{S_i^{0.385}}$$
(25)

sendo: L_i o comprimento [km] e S_i a declividade [m.m⁻¹] do afluente mais longo do rio principal da minibacia.

O valor de TKB_i , por sua vez, é calculado a partir da equação (26), a qual utiliza um parâmetro calibrável que controla o retardo do escoamento subterrâneo. O *CB* [h] pode ser estimado por meio das recessões dos hidrogramas em períodos de estiagem.

$$TKB_i = CB \times 3600 \tag{26}$$

Finalmente, a vazão que chega ao trecho de rio de cada minibacia $Qmini_i$ [m³.s⁻¹] é dado pelo somatório das contribuições superficial, subsuperficial e subterrânea, como expresso pela equação (27):

$$Qmini_i = Qsup_i + Qint_i + Qbas_i$$
⁽²⁷⁾

3.4.3 Propagação de vazões na rede de drenagem

No modelo MGB-IPH, as minibacias são interligadas entre si pela rede de drenagem, de maneira que cada uma escoa para a próxima minibacia de jusante através do seu próprio exutório.

Nas minibacias de cabeceira, aquelas que não possuem escoamento vindo de montante, o modelo não realiza a propagação de vazão nos trechos de rios, mas considera que toda vazão dos reservatórios lineares das minibacias é destinada diretamente ao exutório da mesma. Por outro lado, nas minibacias internas, aquelas que recebem contribuição de montante, a vazão gerada em seu interior é somada às vazões de montante e então são propagadas até seu exutório. Um esquema da geração e propagação de escoamentos nas minibacias e de propagação de vazão na rede de drenagem está ilustrado na FIGURA 30.

A propagação de vazões nos trechos de rios pode ser realizada de duas maneiras: utilizando o método de Muskingum-Cunge (aplicado neste trabalho), conforme apresentado em Tucci (2005), ou utilizando um modelo de propagação hidrodinâmica unidimensional, conforme apresentado por Paiva (2009).



FIGURA 30 - ESQUEMA DA GERAÇÃO DE VAZÕES E PROPAGAÇÕES NO MODELO MGB-IPH

FONTE: O Autor (2021)

Na propagação pelo método de Muskingum-Cunge, em cada trecho de rio são consideradas diversas seções de cálculo, que são definidas discretizando o trecho em subtrechos. O intervalo de tempo diário do modelo também é subdividido em intervalos menores para uma melhor precisão no tempo de viagem e no amortecimento do hidrograma.

A vazão de saída de um determinado trecho em um determinado intervalo de tempo é obtida em função das vazões de entrada e saída no intervalo de tempo anterior e da vazão de entrada no intervalo de tempo atual, como descrito pela equação (28).

$$Q_{i+1}^{t+1} = C1 \times Q_i^t + C2 \times Q_i^{t+1} + C3 \times Q_{i+1}^t$$
(28)

sendo: Q a vazão [m³.s⁻¹]; $i \in i + 1$ as seções de jusante e montante de um determinado subtrecho de rio; $t \in t + 1$ o início e o final do intervalo de tempo; e *C*1, *C*2 e *C*3 são parâmetros calculados pelas equações (29) a (33):

$$C1 = \frac{2 \times K \times X \times \Delta t}{2 \times K \times (1 - X) + \Delta t}$$
(29)

$$C2 = \frac{\Delta t - 2 \times K \times X}{2 \times K \times (1 - X) + \Delta t}$$
(30)

$$C3 = \frac{2 \times K \times (1 - X) - \Delta t}{2 \times K \times (1 - X) + \Delta t}$$
(31)

$$K = \frac{\Delta x}{c_0} \tag{32}$$

$$X = \frac{1}{2} - \frac{Q_0}{B_0 \times S_0 \times c_0 \times \Delta x}$$
(33)

sendo: *X* um parâmetro adimensional de espaço; *K* é o parâmetro de tempo [s]; Δx é o comprimento do subtrecho do rio [m]; Q_0 é a vazão de referência para a estimativa dos parâmetros [m³.s⁻¹]; c_0 é a celeridade cinemática [m.s⁻¹]; B_0 é a largura do rio [m]; e S_0 é a declividade do trecho do rio [m.m⁻¹].

A vazão de referência Q_0 e a largura do rio B_0 são estimadas utilizando o valor da área da bacia a montante do trecho. O comprimento Δx e a declividade S_0 podem ser obtidos do Modelo Digital de Elevação (MDE). A celeridade cinemática c_0 pode ser obtida pela formulação de Manning, considerando a seção do tipo retangular, a partir da equação (34):

$$c_0 = \frac{5}{3} - \frac{Q_0^{0,4} \times S_0^{0,3}}{\eta^{0,6} \times B_0^{0,4}}$$
(34)

sendo: η o coeficiente de rugosidade de Manning.

Um aspecto importante a ser considerado é a minimização dos erros numéricos a partir da melhor definição das discretizações espacial e temporal. Para tanto, são utilizadas as formulações de Fread (1992)⁹ citado por Paiva (2009), apresentadas pelas equações (35) e (36):

$$\Delta t \leq \frac{Ts}{M} \tag{35}$$

$$\Delta x \leq \frac{1}{2} \times \Delta t \times \left[1 + \left(1 + \frac{3 \times Q_0}{2 \times B_0 \times S_0 \times c_0^2 \times \Delta t} \right) \right]$$
(36)

sendo: Ts o tempo de subida da onda de cheia [s]; e M um parâmetro adimensional que deve ser sempre maior que 5.

3.5 PROCESSAMENTO DA BACIA NO IPH-HYDRO TOOLS

Para a discretização da bacia hidrográfica é necessário o processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), que é uma estrutura de dados composta por células com valores da elevação do terreno. A partir do MDE é possível a obtenção de diversos planos de informações essenciais com uso de ferramentas em ambientes SIG, os quais são ilustrados na FIGURA 31.

O pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools é disponibilizado gratuitamente pelo grupo de Hidrologia de Grande Escala (HGE) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Permite a extração de informações do MDE, tais como as direções de escoamento da água com base no relevo, a rede de drenagem, a delimitação da bacia até um ponto de interesse, e a subdivisão desta bacia em elementos menores chamados minibacias.

O IPH-Hydro Tools é acoplado ao software livre *QuantumGIS* (QGIS) para a execução do pré-processamento necessário para a modelagem hidrológica no MGB-IPH. O QUADRO 3 apresenta a relação dos processamentos realizados pela ferramenta e suas respectivas descrições.

⁹ FREAD, D.L. 1993. Flow Routing In: Maidment, D. R. Handbook of hydrology McGraw-Hill New York.

FIGURA 31 - PRINCIPAIS PLANOS DE INFORMAÇÕES OBTIDOS EM AMBIENTE SIG PARA A DISCRETIZAÇÃO ESPACIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA



FONTE: Buarque (2015)

QUADRO 3 - FERRAMENTAS DISPONÍVEIS NO IPH-HYDRO TOOLS, COM SUAS DESCRIÇÕES

FERRAMENTA	DESCRIÇÃO					
Sink and Destroy	Permite a remoção de depressões existentes no MDE através de dua diferentes metodologias: PFS (<i>Priority First Search</i>) e MHS (<i>Modifie Heuristic Search</i>), determinando inclusive as direções de fluxo d água em cada célula do MDE.					
Flow Accumulation	Determina o fluxo acumulado que drena para cada célula do MDE.					
Stream Definition	Determina a rede de drenagem sobre o MDE, com base em um limiar de fluxo acumulado de células					
Segmentation Tools	Segmenta a rede de drenagem em diversos trechos, com subdivisão nas confluências (junções) ou por comprimentos fixos.					
Watershed Delineation	Delimita a bacia hidrográfica para um ou mais exutórios pré-definidos.					
<i>Unit-Catchment Delineation</i> Delimita as minibacias que drenam para cada trecho da r drenagem (<i>catchments</i>).						
Drainage Line	Transforma a rede de drenagem gerada em um arquivo vetorial (linha) do tipo <i>shapefile</i> .					
Watershed Polygon	Transforma as bacias delimitadas em um arquivo vetorial (polígono) do tipo <i>shapefile</i>					
Stage-Area-Volume	Fornece as curvas cota-área e cota-volume até uma altura determinada em um ponto qualquer da rede de drenagem.					
Management Tools	Permite a manipulação dos arquivos, como conversão e recorte de arquivos matriciais.					
Process All Steps	Ferramenta que permite a realização de diversos processos simultaneamente para gerar os arquivos acima					
Permite a criação de um arquivo raster que combina uso e tipo deMGB Tools(as URHs) e gera um arquivo que integra as informações espacia bacia.						

FONTE: Adaptado de Siqueira et al. (2016)

A seguir serão apresentadas breves descrições das ferramentas utilizadas neste trabalho para o processamento do MDE.

3.5.1 Sink and Destroy

As imperfeições existentes no MDE, que podem ser causadas por erros na em sua construção ou mesmo devido à sua resolução, podem ser depressões ou picos. O primeiro objetivo dos algoritmos de remoção de depressões é localizar um pixel que possua valor menor que a sua vizinhança, pois este caracteriza um ponto sem exutório definido. No caso dos algoritmos de remoção de picos, é a busca por células que possuam elevação muito maior que a esperada em relação às suas vizinhas. As depressões e picos são ajustados para o valor da célula vizinha mais baixa ou mais alta, respectivamente, como ilustrado na FIGURA 32.

FIGURA 32 - CORREÇÕES DAS IMPERFEIÇÕES DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO



FONTE: Adaptado de Esri (2020)

A ferramenta *Sink and Destroy* aplica o método D8 (MARKS; DOZIER; FREW, 1984), que analisa a elevação de cada célula em relação às suas 8 vizinhas, calculando as declividades pela equação (37).

$$S_i = \frac{E_0 - E_i}{\phi(i)} \tag{37}$$

sendo: E_0 o valor da elevação da célula central; E_i é a elevação da célula vizinha *i* que está sendo analisada; e $\phi(i)$ é a distância relativa entre as duas células que, para as células vizinhas ortogonais, é tomada como a largura da célula e, para as células vizinhas diagonalmente, é tomada como $\sqrt{2}$ vezes a largura da célula.

A atribuição da direção do fluxo para cada célula, ilustrado na FIGURA 33, ocorre segundo três situações (BUARQUE et al., 2009; SIQUEIRA et al., 2016):

- a) se a maior declividade é positiva ou nula e ocorre para apenas uma única célula vizinha, a direção do fluxo é atribuída no sentido desta única célula;
- b) se a maior declividade é positiva, mas ocorre para mais de uma célula vizinha, a direção do fluxo é atribuída para a de menor ordem;
- c) se a maior declividade é nula e ocorre para mais de uma célula, a atribuição da direção de fluxo também é feita para a célula de menor ordem, desde que esta ainda não possua direção de fluxo definida. Caso todas as células vizinhas já possuam direção definida, a célula central é considerada uma depressão.



FIGURA 33 - PROCESSAMENTO DAS DIREÇÕES DE FLUXO

FONTE: Adaptado de Li et al. (2019)

Após esses procedimentos, a etapa final do *Sink and Destroy* é a localização do exutório dos conjuntos de células que foram classificadas como depressões. Podem ser utilizadas duas abordagens distintas: a metodologia PFS (*Priority First Search*) ou a MHS (*Modified Heuristic Search*), sendo esta última a que apresenta melhores resultados ao minimizar o trajeto até o exutório. Neste trabalho, a metodologia de busca selecionada no IPH-Hydro Tools foi a MHS, cuja estrutura é detalhada em (SIQUEIRA et al., 2016).

A ferramenta *Flow Accumulation* é utilizada para a determinação do fluxo acumulado de células, que irão servir para a extração da rede de drenagem. O método utilizado é o de Haverkort e Janssen (2012), no qual a matriz de direções de fluxo criada no processamento anterior é processada de uma maneira relativamente simples.

Primeiramente, cada célula da matriz de direção de fluxo é atribuída um valor unitário. O método seleciona a primeira célula da matriz, a qual é acumulada para jusante seguindo a direção de fluxo atribuída a ela, resultando num acréscimo no valor da célula seguinte. O procedimento continua acumulando as células até que todas elas tenham sido verificadas. O resultado final é uma matriz na qual cada célula possui o valor referente ao número de células acumuladas à montante, como ilustrado na FIGURA 34.

И	И	И	\checkmark	\checkmark	Ľ
И	И	И	\checkmark	\checkmark	⊻
÷	÷	И	\checkmark	Ľ	\checkmark
R	R	÷	И	\rightarrow	Ľ
И	И	÷	\checkmark	\checkmark	\checkmark
→	→	→	→	\rightarrow	÷

FIGURA 34 - PROCEDIMENTO DE ACUMULAÇÃO DE FLUXO

1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	



FONTE: O Autor (2021)

3.5.3 Stream Definition

A partir da matriz de acumulação de fluxo, a ferramenta *Stream Definition* extrai a rede de drenagem de acordo com um limiar definido pelo usuário. O IPH-Hydro Tools permite a escolha de três limiares para o início da definição da rede de drenagem: o número mínimo de células acumulado, o percentual do total de células da matriz, e uma área acumulada aproximada, este último tendo como base a resolução espacial do MDE. A FIGURA 35 ilustra da diferença que o limiar exerce na delimitação da rede de drenagem.



FIGURA 35 – DEFINIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM A PARTIR DE LIMIARES DE 1, 3 E 8 CÉLULAS ACUMULADAS

FONTE: O Autor (2021)

Não há, porém, um limiar que seja melhor que o outro e, na prática, a escolha é subjetiva, levando em consideração o tempo de processamento e a complexidade desejada para o modelo hidrológico. Fan *et al.* (2013) propuseram critérios para a definição da área de drenagem mínima necessária para melhor representação do início da rede de drenagem, analisando 28 bacias em regiões diferentes do Brasil, e seus resultados demonstraram que as áreas mínimas variaram entre 0,1 e 10 km². Por este motivo e, por se tratar de modelagem de grandes bacias, onde a definição exata das nascentes não é de grande relevância, foi adotado um limiar de 30 km², respeitando os resultados de Fan *et al.* (2013) e ainda reduzindo a complexidade da rede de drenagem.

3.5.4 Segmentation Tools

A ferramenta *Segmentation Tools* permite seccionar a rede de drenagem de duas maneiras: entre os pontos de confluência (*ArcHydro Segmentation*), ou por segmentos de mesmo comprimento (*Fixed Length Segmentation*). Esta ferramenta tem relação direta com o tamanho das minibacias, sendo que a opção de segmentos fixos é a mais adequada para o modelo hidrodinâmico de propagação de vazão, pois permite a criação de minibacias de comprimentos semelhantes.

Neste trabalho foi aplicado o *ArcHydro Segmentation* uma vez que o método de propagação de vazão utilizado na modelagem é o de Muskingum-Cunge. A FIGURA 36 ilustra a identificação das células que compõem os trechos de drenagens baseados nos pontos de confluência.



FIGURA 36 - SEGMENTAÇÃO DOS TRECHOS DE DRENAGEM



3.5.5 Watershed Delineation e Unit-Catchment Delineation

Ambas as ferramentas delimitam as áreas de drenagem com base nas matrizes anteriormente elaboradas. A primeira, *Watershed Delineation*, é utilizada para a definição das sub-bacias a partir de pontos estabelecidos pelo usuário. Os pontos utilizados para a delimitação neste trabalho foram os 34 postos fluviométricos ao longo da bacia do rio Iguaçu. O processo de delimitação consiste na identificação de todas as células que contribuem até ponto analisado.

A outra ferramenta, *Unit-Catchment Delineation*, discretiza todas as subbacias em minibacias, identificando os segmentos de drenagem imediatamente anteriores às confluências, criando um ponto na extremidade mais à montante do segmento. Desta maneira, o processamento é o mesmo que o utilizado para o das sub-bacias, ilustrado na FIGURA 37.



FIGURA 37 - DELIMITAÇÃO DAS MINIBACIAS

FONTE: O Autor (2021)

3.5.6 Ferramentas de utilidade

O IPH-Hydro Tools possui ferramentas de conversão de arquivos matriciais em arquivos vetoriais, tanto para a rede de drenagem (*Drainage Line*) quanto para as bacias, sub-bacias e minibacias (*Watershed Polygon*). Essa funcionalidade é útil principalmente para a visualização no ambiente SIG, mas também para o processamento da precipitação, uma vez que cada elemento da camada vetorizada (minibacia, por exemplo) possui um par de coordenadas da localização de seus respectivos centroides, informação primordial para a etapa de espacialização dos dados de chuva.

Outras ferramentas de utilidade sãos as inseridas em *Management Tools*, que executam o cálculo de informações para pontos da rede e a auxiliam na manipulação de arquivos matriciais. Finalmente, a ferramenta *Process All Delineation Steps* é uma ferramenta que processa todas as etapas anteriormente descritas de uma só vez.

3.5.7 MGB Tools

A última funcionalidade do pacote IPH-Hydro Tools, chamada *MGB Tools*, inclui duas ferramentas: a *Hydrologic Response Unit* e o *MGB-Processing*.

A ferramenta *Hydrologic Response Unit* que permite a criação das classes de resposta hidrológica da bacia hidrográfica, as URHs, a partir de dados de fontes externas referente ao tipo e ao uso do solo. A ferramenta combinas ambas as informações e gera um arquivo matricial correspondente às classes definidas pelo usuário. Neste trabalho, este processamento não foi executado uma vez que o grupo HGE disponibiliza um mapa de UHRs da América do Sul para aplicação no MGB.

A finalização do processamento pelo IPH-Hydro Tools é feita pela ferramenta *MGB-Processing*, que compila os arquivos criados em todas as etapas anteriores, gerando um arquivo necessário para a simulação hidrológica no modelo MGB-IPH. A ferramenta utiliza seis arquivos: o MDE, as direções de fluxo, a rede de drenagem segmentada, as minibacias, as sub-bacias e as URHs.

Além disso, é necessário a entrada de alguns outros parâmetros:

a) *River Hydraulic Options*: correspondem às características hidráulicas dos trechos de drenagem. O usuário pode inserir valores de declividade

máximas e mínimas para os trechos, que irão servir de condições de contorno para a simulação com o objetivo de evitar instabilidades numéricas. Neste trabalho, foram considerados os valores recomendados pelo manual do MGB-IPH, que são 100 m/km para a declividade máxima, e 0,01 m/km para declividade mínima. Outro parâmetro necessário é o coeficiente de Manning, que foi adotado igual a 0,030, recomendado por Collischonn (2001), pois segundo o autor os resultados do modelo são pouco sensíveis a este parâmetro, podendo o mesmo ter um valor fixo para toda bacia;

- b) Bankfull Geomorphic Relationships: são relações importantes para o método hidrodinâmico de propagação de vazões, as quais relacionam a profundidade e a largura com a área de drenagem de cada minibacia. Estes parâmetros foram ajustados para a da bacia do rio Iguaçu;
- c) Raster Distance Options: diz respeito à configuração de cálculo do comprimento dos trechos do rio no raster. Neste trabalho, utilizou-se o método "Distance Transforms", recomendado no manual do modelo, na qual a dimensão do pixel é 0,96194 (ao invés do padrão igual a 1) e sua diagonal é 1.36039 (ao invés do padrão igual a √2). Essa recomendação é baseada no trabalho de Paz et al. (2008) que verificaram a utilização de metodologias para redução de erros no cálculo de distâncias entre pixels quando o ângulo entre eles não é múltiplo de 45°;
- d) Drainage Network Options: configuração opcional para o caso de o préprocessamento ter sido executado anteriormente. A opção "Perform length accumulation" foi deixada habilitada para que o arquivo de comprimentos acumulados fosse criado.

Finalmente, após todos os processamentos anteriores, uma série de arquivos é criada, sendo o mais importante o "MINI.gtp", que contém os atributos da discretização da bacia hidrográfica conforme listados no QUADRO 4.

ATRIBUTO	INFORMAÇÃO				
CatID	Código da minibacia original				
MINI	Número da minibacia em ordem topológica				
Xcen e Ycen	Coordenadas do centroide				
Sub	Sub-bacia a qual pertence a minibacia				
Area	Área de drenagem da minibacia em km²				
AreaM	Área de drenagem total a montante de cada minibacia em km ²				
Ltr e Str	Comprimento e declividade do rio principal que atravessa uma minibacia.				
Lrl e Srl	Comprimento e declividade do afluente mais longo dentro de uma minibacia				
MiniJus	Número da minibacia localizada imediatamente a jusante				
Ordem	Ordem do curso d'agua na minibacia				
Hdr	Campo indicativo do tipo de propagação da vazão no trecho de rio da minibacia				
Width	Largura do trecho baseada na equação geomorfológica				
Depth	Profundidade do trecho baseada na equação geomorfológica				
Manning	Rugosidade de Manning				
BLC_X Porcentagem da área da minibacia em que existe cada uma das unidade resposta hidrológica, onde X varia de 1 até o número de URH					

QUADRO 4 - INFORMAÇÕES NO ARQUIVO MINI.GTP

FONTE: Adaptado de Medeiros et al. (2019)

3.6 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para aplicação no modelo, os dados de precipitação precisam estar disponíveis para cada minibacia, mais precisamente em seu centroide. Desta forma, é necessário um método de espacialização dos dados pluviométricos.

O INTERPLU é um algoritmo desenvolvido por Collischonn (2001) que, para cada intervalo de tempo, identifica o posto pluviométrico com dados disponíveis mais próximo do centroide de cada minibacia, registrando a distância. A seguir, são selecionados todos os postos situados dentro de um raio de duas vezes o valor desta distância. Para a interpolação dos dados, o método do Inverso do Quadrado da Distância é utilizado, cuja formulação é descrita pela equação (38). Neste método, a variável interpolada é ponderada de modo que quanto mais distante o posto está, menor sua influência na determinação do valor interpolado.

$$P_{c} = \frac{\sum_{i=1}^{np} \left(\frac{P_{i}}{d_{i}^{2}}\right)}{\sum_{i=1}^{np} \left(\frac{1}{d_{i}^{2}}\right)}$$
(38)

sendo: P_c a precipitação interpolada para o centroide da minibacia [mm]; P_i é a precipitação no posto pluviométrico *i* [mm]; d_i é a distância entre o centroide da minibacia e o posto pluviométrico [km]; e np é o número de postos considerados.

O algoritmo utiliza como entrada, além das séries de precipitação e das coordenadas dos postos pluviométricos, o arquivo MINI.gtp que contém as informações das coordenadas dos centroides das minibacias.

O produto de precipitação utilizado, o Siprec, mesmo tendo formato em grade, também requer interpolação pelo algoritmo INTERPLU. Para isto, considera-se a existência de uma estação fictícia (chamada de "estação virtual") no centro de cada pixel do produto. A interpolação é executada da mesma forma que com a rede de pluviômetros convencionais.

3.7 PARÂMETROS INICIAIS DO MODELO

Os parâmetros do modelo MGB-IPH podem ser separados entre fixos e calibráveis. Os parâmetros fixos são os mensuráveis ou aqueles para os quais a simulação hidrológica não é tão sensível, não interferindo profundamente nos resultados.

3.7.1 Parâmetros fixos

O Índice de Área Foliar, IAF_j , presente na equação (3), expressa a relação entre a área das folhas da vegetação em uma parcela do solo, e é considerado um parâmetro fixo. O manual do modelo indica valores típicos para este parâmetro com base no tipo de cobertura do solo, indicados na TABELA 5:

Cobertura	Mínimo	Médio	Máximo
Floresta	4	6	9
Cerrado	1	3	4
Pasto / Campo	1	2	4
Agricultura	1	2	6
Água	Não	se aplica, ins	erir 1

TABELA 5 - VALORES TÍPICOS DE IAF (m².m⁻²)

FONTE: Adaptado de Medeiros *et al.* (2019)

Apesar dos valores serem passíveis de variação ao longo do ano, principalmente na agricultura, os valores foram considerados iguais em todos os meses e para todas as URHs.

O albedo, que é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, também é considerado um parâmetro fixo. Seus valores também são típicos são apresentados na TABELA 6.

Outro parâmetro considerado fixo é a altura média do dossel da vegetação, utilizado para estimar a resistência aerodinâmica no cálculo da evapotranspiração. Os valores máximos e mínimos deste parâmetro também são recomendados pelo manual do modelo, e estão apresentados na TABELA 7.

Cobertura	Mínimo	Máximo
Floresta	0.11	0.16
Cerrado	0.13	0.18
Pasto / Campo	0.18	0.26
Agricultura	0.15	0.26
Água	0.08	0.08

TABELA 6 - VALORES TÍPICOS DE ALBEDO

FONTE: Adaptado de Medeiros *et al.* (2019)

TABELA 7 - VALORES TÍPICOS DA ALTURA MÉDIA DO DOSSEL (m)

Cobertura	Mínimo	Máximo
Floresta	10	30
Cerrado	5	10
Pasto / Campo	0.5	1
Agricultura	0.5	2
Água	0.5	0.5

FONTE: Adaptado de Medeiros et al. (2019)

A resistência superficial também é um parâmetro fixo utilizado na estimativa da evapotranspiração, e representa a resistência ao fluxo de umidade do solo até a atmosfera por meio das plantas. Seu valor depende de diversos fatores, como temperatura, umidade do solo e tipo de planta. No modelo MGB-IPH, o valor da resistência superficial é tomado como fixo, levando em conta o tipo de cobertura, como apresentado na TABELA 8.

Cobertura	Mínimo	Máximo
Floresta	10	30
Cerrado	5	10
Pasto / Campo	0.5	1
Agricultura	0.5	2
Água	0.5	0.5

TABELA 8 - VALORES DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL CONSIDERANDO CONDIÇÕES NORMAIS DE UMIDADE DO SOLO (s/m)

FONTE: Adaptado de Medeiros *et al.* (2019)

Entretanto, o modelo fixa o valor limite do armazenamento de água no solo para o qual a evapotranspiração começa a ser afetada pela umidade do solo. Em outras palavras, há um limiar para o qual o valor da resistência superficial seja alterado, sendo multiplicado por um fator que aumenta à medida que o solo perde umidade. Este limiar mínimo, W_l , é fixado em 50% do armazenamento máximo do solo, W_m , este sim um parâmetro calibrável.

Outro parâmetro fixo relacionado ao limiar da mudança da resistência superficial é o ponto de murcha permanente, W_{pm} , que, apesar de ter seu valor dependendo do tipo de solo, no modelo é considerado fixo e corresponde a 10% do armazenamento máximo do solo.

Finalmente, outros dois parâmetros possuem seu valor fixado: o parâmetro de lâmina de interceptação, α , cujo valor é 0,2 mm; e o coeficiente de rugosidade de Manning, η , igual a 0,030.

Os valores dos parâmetros fixos utilizados neste trabalho, para cada uma das URHs, são apresentados no ANEXO 3.

3.7.2 Parâmetros calibráveis

O modelo MGB-IPH possui 10 parâmetros calibráveis, que estão listados no QUADRO 5:

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO				
W _m	Capacidade de armazenamento de água no solo				
b	Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação				
Kbas	Vazão durante a estiagem				
Kint	Quantidade de água que escoa subsuperficialmente				
XL	Forma da curva de redução da drenagem intermediária				
САР	Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial				
W _C	Armazenamento residual				
CS	Retardo do reservatório superficial				
CI	Retardo do reservatório subsuperficial				
СВ	Retardo do reservatório subterrâneo				

QUADRO 5 - PARÂMETROS CALIBRÁVEIS DO MODELO MGB-IPH

FONTE: Adaptado de Meller, (2012)

O parâmetro W_m pode ser entendido como a capacidade do solo em absorver e armazenar a água da chuva, e seu valor depende do tipo do solo. Este parâmetro pode ser obtido a partir de mapas de características de solo, porém para um melhor ajuste entre volumes simulados e observados, o modelo MGB-IPH o considera calibrável. Desta forma, sua variação tende a ter efeito direto nos valores de vazão simulados: à medida que seu valor aumenta, menores são os valores de vazão, pois a capacidade do solo de reter a água aumenta. Neste trabalho, os valores de W_m foram considerados variáveis entre 50 e 2000 mm, considerando os valores de solos rasos inferiores aos de solos profundos.

O parâmetro *b* tem efeito sobre os picos do hidrograma simulado, especialmente nas menores cheias, uma vez que ele controla a separação do escoamento superficial até a saturação da capacidade de armazenamento do solo. Quanto maior o seu valor, ocorre que mesmo os menores eventos de chuva resultam em pequenas cheias, e o hidrograma se torna mais "nervoso". Neste trabalho, os

valores deste parâmetro variaram entre 0,10 e 1,6, seguindo os valores típicos apresentados por Collischonn (2001).

O *Kbas* é um parâmetro que controla o escoamento subterrâneo, análogo à condutividade hidráulica saturada. Quanto maior seu valor, que varia de 0,05 a 5 mm.dia⁻¹, maiores são as vazões simuladas.

O *Kint* é responsável pelo controle da quantidade de água da camada de solo que escoa subsuperficialmente que, embora possa ser estimado a partir de medições de condutividade hidráulica ou pela taxa de infiltração, é um parâmetro calibrável do MGB-IPH. Seu valor depende do tipo de solo, mas o manual do modelo sugere o uso dentro do intervalo de 4 a 40 mm.dia⁻¹, os quais foram aplicados neste trabalho.

O parâmetro *XL* controla a forma da curva de redução da drenagem subsuperficial do solo, representado pela potência da equação (14), tendo relação com a porosidade do solo. Este valor respeita o intervalo de variação da porosidade apresentada por Collischonn (2001), de 0,165 a 0,694.

O parâmetro *CAP* é um parâmetro que corresponde à variável $DMcap_j$ da equação (16) e representa o fluxo ascendente de umidade no solo. De acordo com Collischonn (2001), o modelo MGB-IPH é pouco sensível à variação deste parâmetro e, conforme sugerido pelo manual, seu valor foi considerado nulo neste trabalho. Dessa forma, o fluxo ascendente de umidade no solo foi desconsiderado.

O W_c é um parâmetro que corresponde ao armazenamento residual, na equação (15) e (16), que é um valor limite para a ocorrência de fluxo ascendente ou da percolação. Seu valor, que é uma porcentagem de W_m , geralmente é muito pequeno, e neste trabalho foi utilizado o intervalo de variação entre 0 e 0,2.

Os parâmetros *CS*, *CI* e *CB* são aplicados nas respostas dos reservatórios lineares do modelo MGB-IPH às variações de volume. O valor de *CB* pode ser obtido ao analisar os períodos de recessão do hidrograma e estimado pela equação (39):

$$CB = -\frac{ND}{\ln\left(\frac{Q_{IR}}{Q_{FR}}\right)}$$
(39)

sendo: *CB* o parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo [dias]; *ND* é o número de dias do período de recessão selecionado; Q_{IR} é a vazão no início da recessão; e Q_{FR} é a vazão no final da recessão.

Neste trabalho, os valores de *CB* foram estimados para cada sub-bacia respeitando o intervalo de valores indicado pelo manual do modelo, de 1200 a 8000 horas para este parâmetro. Da mesma forma, os valores de *CS* e *CI* foram considerados dentro do intervalo de variação sugerido pelo modelo: o primeiro variando de 1 a 30, e o segundo de 30 a 200.

3.8 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

A FIGURA 38 ilustra o processo de calibração e validação deste trabalho. O modelo MGB-IPH foi calibrado com o uso de duas fontes de dados distintas como forçantes: primeiro com as estações pluviométricas (Modelo I), e na sequência com as estimativas do Siprec (Modelo II). Todos os dados foram espacializados pelo algoritmo de interpolação de dados pluviométricos INTERPLU, cujo resultado está destacado com o ícone na cor vermelha no fluxograma.



FIGURA 38 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

FONTE: O Autor (2021)

O Modelo I foi calibrado com os dados do período de 01/01/1998 a 31/12/2017 (20 anos) e validado com os dados do período de 01/01/2018 a 31/12/2019 (2 anos). O Modelo II foi calibrado com os dados de 01/01/2017 a 31/12/2018 (2 anos) e validado com os dados de 2019 (1 ano). Os parâmetros iniciais para a calibração são apresentados na TABELA 9, seguindo sugestão do exemplo no manual do modelo.

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Floresta em solo raso	900	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Floresta em solo profundo	1000	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Agricultura em solo raso	900	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Agricultura em solo profundo	1000	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Campo em solo raso	900	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Campo em solo profundo	1000	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Várzeas	500	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Áreas Semi-Impermeáveis	300	0.1	0.1	2.0	0.6	0	0.1
Água	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	150						
СВ	2000						

TABELA 9 - PARÂMETROS INICIAIS DO MODELO

O algoritmo de otimização utilizado no MGB-IPH é o MOCOM-UA, descrito com mais detalhes em Collischonn (2001), e as funções objetivos para as quais ele busca um conjunto de parâmetros ótimos são NSE, NSElog e BIAS. A TABELA 10 resume as considerações da etapa de calibração e validação.

TABELA 10 - MÉTRICAS E PERÍODOS DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Fonte de Dados	Calibração	Validação	Métricas
Estações Pluviométricas	01/01/1998 a 31/12/2017	01/01/2018 a 31/12/2019	NSE, NSElog, BIAS
Siprec	01/01/2017 a 31/12/2018	01/01/2019 a 31/12/2019	NSE, NSElog, BIAS

FONTE: O autor (2021)

Em termos de avaliação do desempenho por meio das métricas de forma individualizada, foram utilizados os critérios desenvolvidos por Moriasi et al. (2015) para dados diários de descarga líquida, conforme indicado na TABELA 11:

FONTE: O autor (2021)
Métricas	Critérios de Desempenho						
	Muito bom	Bom	Satisfatório	Insatisfatório			
NSE e NSElog	Acima de 0.80	Entre 0.70 e 0.80	Entre 0.50 e 0.70	Abaixo de 0.50			
BIAS (%)	Menor que ± 5%	Entre ± 5% e ± 10%	Entre ±10% e ± 15%	Acima de ±15%			

TABELA 11 - CRITÉRIOS DE DESEMPENHO A PARTIR DOS VALORES DAS MÉTRICAS

FONTE: Adaptado de Moriasi et al. (2015)

Para a avaliação do desempenho por meio das métricas de forma conjunta, foi desenvolvido um ábaco composto por dois gráficos de dispersão com as diferentes categorias de desempenho em cores distintas, conforme ilustrado na FIGURA 39.

NSE 1.0 0.8 Insatisfatório NSE Log 0.6 Satisfatório Bom 0.4 Muito Bom 0.2 0.0 0% 20% 40% BIAS 60% 80% 100% 0.2 0.4 0.6 0.8 0.6 0.40.2 0.0 0.8 1.0 0.0 NSE NSE Log

FIGURA 39 - ÁBACO PARA CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

O primeiro gráfico consiste na avaliação das métricas NSE, no eixo horizontal, e NSElog, no eixo vertical. As regiões que representam as categorias são definidas por quartos de circunferência, cujos raios são iguais às distâncias euclidianas dos limiares dos critérios até o ponto ótimo de NSE e NSElog iguais 1.

O segundo gráfico é uma comparação das métricas NSE e NSElog, ambas no eixo horizontal, com o BIAS, no eixo vertical, sendo que o eixo horizontal é divido pelo

FONTE: O autor (2021)

eixo vertical em duas partes: à esquerda estão os valores de NSE e à direita os valores de NSElog. A construção das regiões das categorias foi feita por meio de elipses com distâncias focais iguais a distância entre os valores dos limiares de NSE e NSElog. Além disso, as elipses deveriam conter os pontos de coordenadas vertical igual ao valor do limiar do BIAS e de coordenada horizontal igual ao valor dos limiares de NSE ou NSElog.

3.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira análise de resultados refere-se aos dados pluviométricos, executada após o processo de levantamento de dados. Após a espacialização dos dados pelo algoritmo INTERPLU foi feita uma comparação entre precipitação acumulada a nível de minibacias no período comum de dados, com o objetivo de avaliar as diferenças das estimativas ao longo da bacia do rio Iguaçu. O objetivo desta análise foi avaliar quais regiões da bacia do Iguaçu possuem maiores diferenças entre as duas fontes de dados. No contexto desta avaliação foram observados, além da precipitação média anual, a diferença entre os acumulados de precipitação, os desvios entre as duas fontes, a quantificação dos dias de chuva no ano e a diferença na precipitação por área de contribuição.

Após a validação individual do Modelo I e do Modelo II, ambos serão avaliados para os mesmos períodos. Inicialmente serão avaliadas as simulações de ambos os modelos para o ano de 2020, período este não contido na calibração ou na validação dos modelos. Posteriormente, serão comparadas com todo o intervalo de disponibilidade de dados compartilhado, de 2017 a 2020. A partir destas avaliações será possível, por exemplo, verificar se a utilização de um produto de precipitação melhorou o desempenho do modelo, se o uso do sensoriamento remoto beneficia a simulação de eventos extremos, dentre outros.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados o levantamento de trabalhos de temática semelhante, a avaliação dos dados de entrada do modelo e consistência preliminar, o pré-processamento que resulta na construção física do modelo, a calibração e validação, e a análise comparativa de desempenho dos modelos.

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A partir da pesquisa nas plataformas *Scopus* e *Google Scholar*, foram encontrados 112 artigos publicados em 28 periódicos como *Journal of Hydrology*, *Journal of Hydrometeorology*, *Atmospheric Research*, dentre outros, que aplicavam um ou mais produtos de precipitação do sensoriamento remoto na modelagem hidrológica, avaliando o desempenho de um ou mais modelos. Foram abordados um total de 43 modelos e 43 produtos nos artigos levantados. A FIGURA 40 apresenta um resumo das informações levantadas.



FIGURA 40 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A utilização de dados de precipitação do Sensoriamento Remoto na modelagem hidrológica têm sido cada vez mais frequente e, consequentemente, a busca pela combinação de produto e modelo que resulte em uma melhor simulação da resposta da bacia hidrográfica. Essa característica é percebida pela crescente frequência de publicações com esta abordagem e que, segundo a pesquisa bibliográfica, é percebida pela concentração de cerca de dois terços dos trabalhos nos últimos 5 anos.

Dentre os modelos mais utilizados, o modelo SWAT foi o mais frequente, sendo aplicado em 22 trabalhos. Em relação aos produtos de precipitação, os produtos TMPA foram empregados um total de 80 vezes.

O modelo MGB-IPH foi aplicado em 5 artigos. Collischonn, Collischonn e Tucci (2008) avaliaram o produto TMPA na bacia do rio Tapajós, concluindo que o produto era uma ferramenta prática para a detecção de erros grosseiros nas estimativas a partir de pluviômetros. Os resultados das simulações empregando o TMPA como forçante do modelo demostraram um desempenho equivalente, sendo um pouco melhor para algumas sub-bacias ou um pouco inferior em outras.

Zubieta *et al.* (2015) compararam os produtos TMPA, CMORPH e PERSIANN na região oeste da Bacia Amazônica, localizada no Peru. Os resultados indicaram que dentre os três produtos, o TMPA apresentou o melhor desempenho na simulação hidrológica, mas os autores concluíram que a variabilidade sazonal de algumas bacias não foi bem representada e que, como alternativa, as estimativas por satélite deveriam ser corrigidas com uso de dados de pluviômetros.

Mais recentemente, Zubieta *et al.* (2017) compararam duas versões do TMPA e seu sucessor IMERG na mesma área de estudo que o trabalho anterior, concluindo que o IMERG apresentou desempenho semelhante ao do TMPA, mas desta vez com boa representação da sazonalidade das vazões. Um destaque feito pelos autores é que a vantagem do IMERG é sua melhor resolução temporal que, apesar de não ter sido profundamente avaliada, poderia ser uma ferramenta bastante útil na simulação de vazões no caso de chuvas convectivas (curta duração e alta intensidade).

Wongchuig *et al.* (2019) utilizaram o MGB-IPH para o desenvolvimento de um produto de reanálise de variáveis hidrológicas (de nível e vazão, por exemplo) a partir dos anos 1900 chamado HRXX (*Hydrological Reanalysis Across the 20th Century*) utilizando como forçante um produto de reanálise atmosférica de escala mensal chamado ERA-20CM. No período de validação, as simulações hidrológicas indicaram

que o melhor desempenho se deu quando o ERA-20CM foi corrigido com informações da rede convencional.

Finalmente, Cassalho *et al.* (2020) avaliaram um produto chamado MERGE na bacia do rio Paraíba do Sul, o qual foi desenvolvido baseado nas estimativas do TMPA corrigidas pelas observações da rede pluviométrica. Os resultados indicaram que as simulações do MERGE foram equivalentes aos do modelo calibrado apenas com o uso de pluviômetros, tanto para os bons quanto para os desempenhos insatisfatórios.

Ao que se refere aos produtos de precipitação, o MPE, utilizado no Siprec, foi aplicado em dois trabalhos. Yucel *et al.* (2015) forçaram o modelo WRF-Hydro para representar o comportamento hidrológico de bacias na região do Mar Negro, na Turquia. Suas conclusões indicaram que as simulações com o uso do MPE não foram satisfatórias uma vez que os valores de precipitação deste produto para a área de estudo eram subestimados.

Worqlul *et al.* (2018) avaliaram o produto MPE como forçante do modelo HBV em duas bacias hidrográficas na Etiópia. Os autores também observaram valores de precipitação subestimados do produto quando comparado com as observações de pluviômetros. Entretanto, quando os erros do MPE são corrigidos com base nas observações convencionais, a simulação de vazão a partir da modelagem hidrológica foi equivalente àquelas feitas com o uso apenas dos pluviômetros.

4.2 LEVANTAMENTO E CONSISTÊNCIA DOS DADOS

Como descrito no item 3.3.1, os dados pluviométricos de estações convencionais foram obtidos de dois bancos de dados: o banco do Simepar e o banco da ANA (através de um *plugin* interno do MGB-IPH). Em relação à consistência destes dados, aqueles provenientes do banco da ANA inicialmente foram classificados como "consistidos", pois são obtidos do banco com esta classificação. Por outro lado, os dados obtidos diretamente do banco do Simepar são registros brutos por se tratar de dados provenientes da leitura direta dos sensores das estações, e por isso um processo de consistência foi aplicado.

A FIGURA 41 apresenta a série histórica de dados diários de precipitação da estação Fazendinha (02549017) no período dos anos de 2018 e 2019 obtida do banco da ANA. Foi possível identificar registros espúrios com valores iguais a 999 mm e 1999 mm em agosto de 2018 e em abril de 2019, por exemplo. Tais dados foram removidos e o resultado é apresentado na FIGURA 42.

FIGURA 41 - DADOS ESPÚRIOS DA ESTAÇÃO FAZENDINHA (02549017)

Série Consistida Original : 02549017 - Fazendinha





FONTE: O Autor (2021)

2018-10

2019-01

2019-04

2019-07

2019-10

2020-01

2018-01

2018-04

2018-07

Da mesma maneira, os dados pluviométricos do banco do Simepar foram inspecionados e os registros espúrios removidos, conforme apresentado na FIGURA 43 e na FIGURA 44, por exemplo, para a estação de Foz do Areia (02651055). A primeira imagem refere-se à série de dados brutos na qual é possível identificar um registro de 806 mm em fevereiro de 2005 e outros dois na ordem de 300 mm em julho e dezembro de 2007. A segunda imagem, por sua vez, representa a série após o processo de consistência.



FIGURA 44 - CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA ESTAÇÃO DE FOZ DO AREIA (02651055)



Em relação aos dados de vazão, passaram pelo processo de consistência os dados provenientes do banco de dados do Simepar, por se tratar de dados brutos dos sensores das estações fluviométricas. A FIGURA 45 apresenta um exemplo da consistência de dados para a estação de Santa Cruz do Timbó (65295001), no período dos anos de 2011 e 2012, quando ocorreram registros negativos na leitura do sensor,

possivelmente devido a falhas no equipamento ou de comunicação, os quais foram removidos no processo de análise.



A avaliação dos postos fluviométricos também permitiu o levantamento das relações geomorfológicas utilizadas para o processamento da geometria dos trechos de drenagem do arquivo MINI.gtp. O modelo MGB-IPH utiliza como padrão as relações apresentadas nas equações (40) e (41):

$$B = 0.95 \times A_{bacia}^{0,5}$$
(40)

$$H = 1,03 \times A_{bacia}^{0,3}$$
(41)

sendo: *B* a largura do trecho do rio [m]; *H* é a profundidade do trecho do rio [m]; e A_{bacia} é a área de drenagem da bacia à montante do trecho.

Dos 34 postos, 9 são reservatórios, e foram excluídos da análise. Dos 25 postos restantes, em apenas 23 as informações históricas de medições de largura e profundidade estavam disponíveis. As médias dos dados foram calculadas para cada posto fluviométrico e, posteriormente, a partir da construção do GRÁFICO 1 e do GRÁFICO 2, as relações geomorfológicas da bacia do rio Iguaçu foram obtidas.

GRÁFICO 1 - RELAÇÃO ENTRE LARGURA DO RIO E ÁREA DE DRENAGEM PARA A BACIA O RIO IGUAÇU



ВхА

FONTE: O autor (2021)

GRÁFICO 2 - RELAÇÃO ENTRE PROFUNDIDADE DO RIO E ÁREA DE DRENAGEM PARA A BACIA O RIO IGUAÇU



FONTE: O autor (2021)

Os rios da bacia rio Iguaçu apresentam diferentes característica daquelas assumidas como padrão pelo modelo MGB-IPH. Em uma análise ampla, pode-se dizer que a bacia do rio Iguaçu é constituída por trechos de rios mais largos e bem menos profundos.

Conforme mencionado no item 3.3.3, foram utilizadas as normais climatológicas do INMET do período de 1961 - 1990 (9 estações) e do período de 1981 – 2010 (7 estações), abrangendo uma boa cobertura da área de estudo. Por tratar-se de dados oficiais já consistidos, nenhum processo de correção foi executado.

A FIGURA 46 apresenta um compilado de informações das cinco variáveis (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e insolação), e os valores são apresentados no ANEXO 4. Cada uma delas passou pelo processo de interpolação por meio do algoritmo INTERPLU, descrito no item 3.6, e o valor da média anual é representada pela escala de cores. Além disso, são destacados a bacia do rio Iguaçu e a localização das estações climatológicas consideradas. Ao lado de cada retângulo há um gráfico que representa as séries de normais meteorológicas para as estações ao longo dos meses.

Em relação à temperatura, é possível perceber a variação bem definida ao longo do ano em todas as localidades da bacia do rio Iguaçu, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais quentes, com temperaturas que variam de 18,5°C a 25,5°C, e os meses de junho, julho e agosto com temperaturas variando entre 10,4°C e 17,6°C. As temperaturas mais baixas foram registradas pela estação de Palmas, localizada na porção média da bacia próxima à divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina. Por outro lado, as temperaturas mais altas foram registradas na estação de Foz do Iguaçu, no extremo oeste da bacia. Ao longo do ano, a amplitude média de temperaturas foi de aproximadamente 6,1°C.

As normais referentes à umidade relativa do ar não apresentaram grandes variações ao longo do ano, com as séries apresentando um desvio padrão médio de 2,7%. A amplitude média entre as séries, no entanto, foi de 13%, sendo a estação com maiores registros a de Indaial, localizada no Vale do Itajaí em Santa Catarina, com valores que variaram de 81,8% a 88,2%, e a estação com menores registros a de Chapecó, sendo seus registros variáveis entre 68% a 77,9%.

A pressão atmosférica está relacionada à altitude da região, sendo essas grandezas inversamente proporcionais entre si: as regiões em maiores altitudes são aquelas com menores valores de pressão atmosférica. É possível observar que a interpolação dos dados foi capaz de representar a variação do relevo ao longo da bacia do rio Iguaçu, demonstrando que a porção média da bacia apresenta as maiores altitudes e, assim, os menores valores de pressão atmosférica. Essa verificação pode também ser feita ao observar o MDE no item 4.3.



FIGURA 46 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS E SUA ESPACIALIZAÇÃO

FONTE: O autor (2021)

Em relação à velocidade do vento, a estação que registrou maiores velocidades foi Campos Novos, em Santa Catarina, com velocidades que variaram entre 3,1 m/s e 4,0 m/s, mas cujos valores não tiveram tanto impacto na espacialização sobre a área de estudo, uma vez que estações como Palmas, Porto União e Irienópolis geraram uma célula de velocidades mais baixas na porção média da bacia do rio Iguaçu. As maiores velocidades ao longo da bacia foram registradas nas estações de Guarapuava e Curitiba, com valores de velocidades que variaram entre 1,8 m/s e 2,6 m/s. De modo geral, as séries de velocidades indicaram valores acima das médias individuais no período de julho a dezembro, mas com baixos valores de desvio padrão.

Finalmente, a insolação diária média anual variou de 4,2 horas a 6,6 horas, com valores crescentes no sentido leste a oeste ao longo da bacia, com uma perceptível diminuição dos valores de insolação durante o período de inverno. A diferença média entre o maior e o menor índice de insolação foi de aproximadamente 3 horas por dia, variando de 2,2 horas por dia no mês de maio e 3,8 horas por dia no mês de dezembro. Estes valores são compatíveis com o Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA, 2000), indicando que as regiões mais ao leste da bacia do rio Iguaçu apresentam uma maior nebulosidade ao longo do ano quando comparadas com as regiões a oeste.

Ao observar a variação dos dados climatológicos ao longo da bacia do rio Iguaçu, é possível identificar uma região divisória na porção mais a oeste da área de estudo, principalmente nas variáveis de temperatura, pressão atmosférica e insolação, caracterizando regiões de baixas altitudes, com maior incidência de radiação solar e temperatura. Esta verificação pode ser validada pelo sistema de classificação climática de Köppen, largamente utilizado ao redor do mundo pela sua simplicidade e nomenclatura (ALVARES et al., 2013), e pode ser ilustrada por meio da FIGURA 47, que consiste em na classificação de Köppen para o Brasil, com destaque na bacia do rio Iguaçu.

O tipo de clima presente na bacia consiste num clima subtropical úmido sem uma estação seca durante o ano ("Cf"), ou seja, a precipitação do mês mais seco superior a 40 mm. O fator que caracteriza a diferença entre o clima do oeste (Cfa) e leste (Cfb) é a temperatura do mês mais quente: o clima Cfa traduz-se em temperaturas superiores a 22 °C no mês mais quente, e o clima Cfb em temperaturas inferiores a este valor.

FIGURA 47 - CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN PARA O BRASIL



FONTE: Adaptado de Alvares et al. (2013).

4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO NO IPH-HYDRO TOOLS

Conforme descrito no item 3.5, o Modelo Digital de Elevação da bacia do rio Iguaçu foi processado pelo conjunto de ferramentas IPH-Hydro Tools. A FIGURA 48 apresenta as principais informações obtidas a partir da discretização: a rede de drenagem, a divisão em sub-bacias e em minibacias, e na FIGURA 49 está a discretização final da área de estudo com a indicação dos pontos de simulação.

FIGURA 48 - DISCRETIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA





FIGURA 49 - A DISCRETIZAÇÃO DA BACIA DO RIO IGUAÇU EM 29 SUB-BACIAS

A partir da definição da rede de drenagem, foram delimitadas 1325 minibacias, cuja distribuição da quantidade destes elementos em classes de áreas de drenagem é apresentada na TABELA 12 e ilustrada no GRÁFICO 3.

É possível observar que grande parte das minibacias corresponderam à configuração estabelecida no IPH-Hydro Tools, de 30 km². Foram 500 elementos (37,7%) no intervalo entre 25 e 50 km² de área de drenagem, e outra grande quantidade (372) com áreas entre 50 e 100 km². Os intervalos ente 1 e 10 km², 10 e 25 km², e 100 e 200 km² apresentaram quantidades semelhantes entre si, iguais a 126 (9,5%), 145 (10,9%) e 138 (10,4%), respectivamente. Pouco menos de 3% das minibacias tiveram área menor que 1 km² e apenas 0,5% maiores que 200 km². Essa distribuição é influenciada pela variabilidade espacial da topografia e pela configuração de definição de minibacia a cada confluência na rede de drenagem.

TABELA 12 - DISTRIBUIÇÃO DE MINIBACIAS GERADAS, AGRUPADAS EM CLASSES DE ÁREAS DE DRENAGEM

Intervalo de Áreas (km²)			Número de Minibacias	% do total	
0	-	1	37	2,8	
1	-	10	126	9,5	
10	-	25	145	10,9	
25	-	50	500	37,7	
50	-	100	372	28,1	
100	-	200	138	10,4	
	>	200	7	0,5	
	Total		1325	100	

GRÁFICO 3 - NÚMERO DE MINIBACIAS GERADAS AGRUPADAS EM CLASSES DE ÁREAS DE DRENAGEM



FONTE: O autor (2021)

4.4 AVALIAÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Como descrito no item 3.3.1, os dados pluviométricos foram de duas fontes distintas: a primeira sendo das estações pluviométricas e a segunda do Siprec por meio de estações virtuais. Para avaliação dos dados e posterior utilização no modelo MGB-IPH, todos os dados foram interpolados por meio do algoritmo INTERPLU, descrito no item 3.6, e analisados conforme mencionado no item 3.9.

A FIGURA 50 apresenta o resultado da interpolação do período de dados das estações pluviométricas (1998 – 2020), a partir da qual é possível verificar que a precipitação média anual varia de 1335 mm na porção leste da bacia até 2294 mm na porção média da bacia. Alguns pluviogramas foram destacados, sendo evidente que não há uma sazonalidade marcante no regime de precipitações, e que eventos chuvosos ocorrem de forma contínua e distribuída ao longo de todo o ano, com precipitações médias mensais variando de 80 mm a 260 mm.



FIGURA 50 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (1998 – 2020)

Com o intuito de uma comparação dos dados de chuva no mesmo período que os obtidos do Siprec (2017 – 2020), descrito no item 3.9, a FIGURA 51 apresenta o resultado da interpolação dos dados das estações pluviométricas, indicando assim a precipitação média anual considerando o período selecionado.

A interpolação dos dados de chuva em um período mais curto indicou um padrão semelhante ao anterior ao longo da bacia: menores valores de precipitação média anual na porção leste da bacia. Apesar disso, os valores foram inferiores aos obtidos na interpolação de longo termo: para este período mais recente, a precipitação média anual variou de 1170 mm a 1940 mm.



FIGURA 51 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (2017 – 2020)

FONTE: O autor (2021)

Outro destaque pode ser dado à variabilidade dos pluviogramas, que chegaram a registrar algumas médias mensais elevadas em algumas localidades, mas que numa análise geral ficaram abaixo das de longo termo. Isso pode ser explicado pela situação hidrometeorológica desfavorável ocorrida em toda a Região

Sul do Brasil a partir de meados de 2019 que fez com que a Agência Nacional de Águas, em março de 2020, criasse uma Sala de Crise com os três estados (ANA, 2020), além de incluir a região no Monitor de Secas no mesmo ano. Esta estiagem comprometeu o sistema de abastecimento de água no Paraná, inclusive fazendo necessária a decretação de situação de emergência hídrica no estado (GLOBO, 2020), que permitiu às empresas de abastecimento a realização de rodízios na oferta do serviço.

A FIGURA 52, por sua vez, apresenta o resultado da interpolação dos dados das estações virtuais do Siprec (2017 – 2020), sendo perceptível uma diferença em relação à interpolação a partir das estações pluviométricas. A precipitação média anual variou de 725 mm a 2300 mm, mas sem apresentar uma distinção evidente entre a porção leste e oeste da bacia hidrográfica. Uma característica mantida foi a concentração dos maiores volumes precipitados na porção média da bacia, principalmente na extremidade norte que apresentou os valores mais elevados.



FIGURA 52 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL PELO SIPREC (2017 – 2020)

A variabilidade das médias mensais nos pluviogramas ao longo do ano também foi verificada nos dados interpolados do Siprec, apesar de apresentarem, na maioria dos pontos em destaque, magnitudes distintas em relação às médias mensais da interpolação das estações pluviométricas.

Para verificar a diferença entre as duas interpolações, foi executada a subtração dos valores interpolados do Siprec dos valores da interpolação das estações pluviométricas, cujo resultado é apresentado na FIGURA 53. As regiões em azul indicam localidades onde a interpolação dos dados a partir das estações pluviométricas resultou em médias anuais maiores, e as regiões em vermelho representam as localidades para as quais a interpolação a partir do Siprec foi mais elevada. Quanto maior a saturação da cor, maiores foram as diferenças; quanto mais próximo do branco, mais semelhantes são as precipitações médias anuais.

FIGURA 53 - DIFERENÇA ENTRE A INTERPOLAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E PELO SIPREC (2017 – 2020)



A partir do mapa podem ser identificadas regiões de diferenças entre os resultados bem delimitadas, além de localidades com equivalência entre as precipitações, algumas destas em pontos de estações pluviométricas. Esta última observação pode ser associada à possibilidade de tais estações pluviométricas estarem inseridas no algoritmo do Siprec. Da mesma forma que as estações pluviométricas que estejam localizados em uma região de grande saturação no mapa seja um indicativo de as mesmas não serem consideradas nos cálculos do Siprec.

Segundo os resultados, as maiores diferenças foram de subestimação do Siprec de até 49,8% e superestimação de até 74,1% em relação às precipitações médias anuais das estações pluviométricas. Numa análise generalizada, a média de todos os desvios foi de 0,5% considerando toda a bacia do rio Iguaçu, indicando uma subestimação do Siprec.

A FIGURA 54 apresenta a diferença na precipitação acumulada anual no período de 2017 a 2020, indicando os radares meteorológicos de Teixeira Soares e de Cascavel bem como um raio de cobertura de 240 km. Se torna perceptível que nos anos de 2017, 2018 e 2019 os valores superestimados se encontravam no raio de cobertura do radar de Teixeira Soares, enquanto no ano de 2020 os valores superestimados se localizavam sob a área de interseção entre os radares. Cabe ressaltar que a qualidade das estimativas dos radares meteorológicos se degrada com a distância, e é esperado que, pelo menos a parcela dos radares meteorológicos do Siprec, gerem maiores desvios em regiões distantes. Desta forma, justifica-se que a região de interseção, localizada nos limiares de cobertura de ambos os radares, apresente desvios mais acentuados, pelo menos nas estimativas dos radares meteorológicos.

No entanto, como mencionado, observa-se que mesmo em regiões próximas ao radar de Teixeira Soares há uma notória superestimativa do Siprec. Apesar de os dados do Siprec serem produto de uma combinação de estações pluviométricas, satélite e radares meteorológicos, esses resultados indicam a possibilidade de os parâmetros da relação Z-R deste radar não estarem propriamente calibrados, pelo menos durante os anos de 2017, 2018 e 2019. No ano de 2020, porém, esta característica não se mantém, podendo estar associado à uma recalibração, ou à ocorrência da crise hídrica.



FIGURA 54 - DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA ANUAL E COBERTURA DOS RADARES METEOROLÓGICOS



É possível verificar que em toda a porção oeste da bacia do rio Iguaçu a interpolação dos dados das estações pluviométricas resultou em valores mais elevados que aqueles obtidos pelo Siprec, inclusive com consideráveis discrepâncias, indicadas pela de saturação. Nesta região, os gráficos das diferenças das médias mensais chegam a registrar valores superiores a 100 mm em alguns meses.

A FIGURA 55 e a FIGURA 56 apresentam as séries de dados, os desvios e algumas estatísticas para as estações de Porto Santo Antônio (2553062) e Porto Capanema (2553070), respectivamente, localizadas na região em azul. Ambas as estações apresentam uma diferença considerável nas Curvas de Dupla-Massa, sendo que para a estação de Porto Santo Antônio a diferença entre os valores acumulados torna-se significativa a partir de outubro de 2017, e para a estação de Porto Capanema a partir de abril de 2017.

Por meio do gráfico de dispersão, é possível avaliar que os pares de pontos ficaram consideravelmente afastados da reta de ajuste perfeito, principalmente para

os valores de precipitação maiores que 40 mm. O coeficiente de correlação linear foi de 0,785 para Porto Santo Antônio e 0,687 para Porto Capanema.



FIGURA 55 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PORTO SANTO ANTÔNIO **PORTO SANTO ANTÔNIO**



FIGURA 56 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PORTO CAPANEMA

PORTO CAPANEMA

FONTE: O autor (2021)

Em relação aos desvios, para Porto Santo Antônio variaram de -62,2 mm a 69,7 mm, com média de 4,1 mm e desvio padrão de 12,6 mm. Já para Porto

Capanema, os desvios variaram de -40,86 mm a 162.4 mm, este último valor caracterizando um registro diário para o qual o dado do Siprec foi nulo. A estação de Porto Capanema apresentou outros desvios positivos elevados, como 108,6 mm e 100,7 mm, porém com registros de precipitação no Siprec iguais a 13,8 mm e 34,7 mm, respectivamente. Isso pode ser um indicativo de que ou o Siprec esteja subestimando volume precipitado devido sua parcela indireta na estimativa da chuva, ou as séries das estações pluviométrica ainda contenham dados espúrios.

No que se refere aos desvios absolutos médios (em inglês, *Mean Absolute Errors* – MAE), os valores foram de 6,8 mm e 7,6 mm para Porto Santo Antônio e Porto Capanema, respectivamente. Como o desvio absoluto médio pondera tanto os desvios pequenos quanto os grandes de forma linear e proporcional, foram calculadas as raízes dos desvios médios quadráticos (em inglês, *Root Mean Squared Errors* – RMSE). Desta forma os grandes desvios, que são indesejáveis, têm um maior impacto na avaliação a partir desta métrica, uma vez que os erros são elevados ao quadrado antes da média ser efetuada. Os valores das raízes dos desvios médios quadráticos foram de 13,3 mm e 16,4 mm para Porto Santo Antônio e Porto Capanema, respectivamente.

Outras regiões isoladas ao longo da bacia apresentam subestimação de precipitação por parte do Siprec, como as cabeceiras do rio Iguaçu no extremo leste, e uma região na porção média da bacia, próximo à divisa com o estado de Santa Catarina. Para esta última localidade a FIGURA 57 apresenta as séries de dados, os desvios e algumas estatísticas para a estação de Jangada (2651057).

Da mesma forma que foi observada nas estações anteriores, é notória a diferença nas precipitações acumuladas por meio da Curva de Dupla Massa. Entretanto, é possível observar que as precipitações são equivalentes até o valor acumulado de 1500 mm, ocorrido em outubro de 2017. A partir desta data até o início de 2019 os desvios são bastante elevados, variando de -53,5 mm a 164,7 mm, fazendo com que o gráfico das diferenças acumuladas apresente uma ascendência bastante aparente neste período.

Entretanto, é possível observar um comportamento que indica uma relativa concordância entre as duas séries a partir de 2019: enquanto no gráfico das diferenças acumuladas a linha ficou quase paralela à horizontal, na Curva de Dupla Massa a linha segue praticamente paralela à linha de ajuste perfeito.



FIGURA 57 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM JANGADA

JANGADA

FONTE: O autor (2021)

A diferença cumulativa passou de 1542 mm no início de 2019 para 1878 mm ao final de 2020, caracterizando um aumento de 336 mm em 2 anos. Neste

período os desvios foram de -9,1 mm a 32,4 mm, mas vale ressaltar que a crise hídrica se estabeleceu nestes anos, com baixos valores na precipitação.

No que se refere às estatísticas dos desvios, todos os valores foram semelhantes às duas estações analisadas anteriormente. A média foi igual a 2,9 mm e o desvio padrão igual a 13,8 mm. O desvio absoluto médio foi o menor entre as três estações, igual a 5,8 mm. Entretanto, a raiz do desvio médio quadrático igual a 14,1 mm, valor superior à estação de Porto Santo Antônio, devido a presença dos grandes desvios ocorridos entre 2017 e 2019.

Da mesma maneira que foi analisada a porção em azul localizada a oeste da bacia do rio Iguaçu, na qual as médias das estações pluviométricas foram superiores, também foi analisada a região em vermelho. Com uma saturação maior na porção média próximo aos limites do norte da bacia, as diferenças nas médias mensais foram próximas a 150 mm, indicando grande diferença nos dados, com maiores valores do Siprec.

A FIGURA 58 apresenta as séries de dados, os desvios e algumas estatísticas para a estação de Vau dos Ribeiros (2552062), localizada na região em vermelho. Por meio da Curva de Dupla Massa é possível verificar uma diferença considerável entre os valores acumulados. Ao observar o gráfico de diferenças acumuladas, nota-se um incremento progressivo ao longo do primeiro semestre de 2017, com uma certa estabilização até o início de 2018. A partir de então, as diferenças acumuladas continuam a aumentar até o final de 2019. Os períodos de estabilização também podem ser notados na Curva de Dupla Massa nos trechos de aparente paralelismo com a reta a 45°.

O gráfico de dispersão indica uma grande concentração de pares localizados abaixo da reta de ajuste perfeito dentro do intervalo de 0 mm a 20 mm, apontando um registro de precipitações maiores no Siprec. Como os desvios são calculados relativos aos valores da estação pluviométrica, muitos de seus valores são negativos e, por isso, no gráfico de distribuição, é possível identificar tais pares representados pela grande quantidade de desvios negativos até os -20 mm.



FIGURA 58 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM VAU DOS RIBEIROS

VAU DOS RIBEIROS

FONTE: O autor (2021)

Diferentemente das estações analisadas na região em azul, que apresentavam assimetrias discretas nas distribuições dos desvios, para a estação de

Vau dos Ribeiros percebe-se uma assimetria bastante evidente. Os desvios variaram de -63,2 mm a 56,9 mm, mas apenas 27% destes desvios foram positivos e, assim, a média dos desvios foi igual a -5,1 mm. O desvio médio absoluto foi de 8,1 mm, o maior dentre todas as estações analisadas anteriormente, e a raiz do desvio médio quadrático igual a 12,5 mm.

Finalmente, para finalizar a avaliação dos dados pluviométricos no tocante às diferenças entre as interpolações apresentadas anteriormente na FIGURA 53, a estação de Palmital do Meio (2651056) foi tomada como exemplo de localidade com equivalência entre as precipitações médias anuais. A partir do pluviogramas das diferenças mensais, é possível perceber que as diferenças foram menores que 40 mm, sendo a maior parte apontando maiores médias registradas na interpolação dos dados das estações pluviométricas. Os únicos meses cuja interpolação do Siprec excedeu a média mensal das estações pluviométricas foram os de abril e maio.

A FIGURA 59 apresenta as séries de dados, os desvios e algumas estatísticas para a estação de Palmital do Meio (2651056). A Curva de Dupla Massa e o gráfico de Diferença Cumulativa indicam uma grande equivalência entre os registros de precipitação até próximo aos 1000 mm, ocorrida em outubro de 2017. A partir disso, há uma tendência de maiores precipitações registradas nas estações pluviométricas até julho de 2018.

A partir de meados de julho de 2018 a série convencional apresentou diversas lacunas, resultando numa diminuição da diferença cumulativa, uma vez que o Siprec continuou a registrar estimativas de precipitação. Ao longo do ano de 2019 e 2020, a diferença entre os acumulados tendeu à redução, passando de -244 mm e, julho de 2019 para -82 mm em dezembro de 2020. Estes dados indicam que neste período, que inclusive foi caracterizado pela crise hídrica, o Siprec teve a tendência de subestimar a precipitação.

Apesar disso, o gráfico de dispersão ilustra uma boa correlação linear entre os pares de dados, com coeficiente igual a 0,845. Em relação aos desvios, esta localidade apresentou uma das melhores estatísticas dentre todos os pontos, com desvio médio absoluto foi de 3,6 mm e a raiz do desvio médio quadrático igual a 6,7 mm.



FIGURA 59 - DIFERENÇAS ENTRE PLUVIÔMETRO E SIPREC EM PALMITAL DO MEIO

PALMITAL DO MEIO

FONTE: O autor (2021)

Outra análise feita em relação aos dados pluviométricos foi a comparação entre o total de registros de chuva por limiar, como indicado na FIGURA 60. Além disso, uma escala de cores referente à diferença nos acumulados de precipitação a partir de cada limiar foi adicionada.

A linha tracejada indica um referencial de equivalência no número de registros de precipitações e quanto mais próxima à cor branca menor a diferença entre os acumulados para a respectiva estação, considerando o período de 2017 a 2020. A equivalência entre as duas séries seria representada por pontos brancos sobre a linha tracejada.



FIGURA 60 – DISPERSÃO DO NÚMERO DE DIAS COM CHUVA E DIFERENÇA ENTRE OS ACUMULADOS DE PRECIPITAÇÃO ENTRE 2017 E 2020

FONTE: O autor (2021)

O gráfico da esquerda ilustra a diferença na quantidade total de registros de chuva (≥ 0 mm), sendo possível constatar que na maioria das vezes foram as estações pluviométricas que registraram mais dias com ocorrência de chuva. A aproximação da nuvem de pontos da linha de referência no gráfico de registros de pelo menos 1 mm representa uma limitação do Siprec em relação aos registros menores que 1 mm: não ocorreram mudanças nos totais de registros do Siprec entre os gráficos, ao passo que a redução no número de registros das estações pluviométricas variou de 20 a 192.

Os dois pontos que permanecem mais afastados da nuvem de pontos com grande saturação são as estações Vau dos Ribeiros (2552062) e PCH Cavernoso II (2552073). Ambas as estações apresentaram um expressivo aumento da diferença acumulada entre o final de 2018 e o início de 2019, e a FIGURA 61 apresenta um comparativo dos hietogramas neste período.

É notório que tanto a quantidade de registros como a magnitude das precipitações apresentam diferenças importantes, e esta constatação sugere que ou as estações pluviométricas não estejam registrando corretamente as precipitações, ou a parcela do sensoriamento remoto do Siprec esteja superestimando a ocorrência e a intensidade das chuvas nestas localidades. Cabe notar que tal região está localizada na região de superposição entre os alcances dos radares meteorológicos, indicado anteriormente na FIGURA 54.

FIGURA 61 – COMPARAÇÃO DOS HIETOGRAMAS EM PCH CAVERNOSO II E VAU DOS RIBEIROS ENTRE DEZEMBRO DE 2018 E ABRIL DE 2018



FONTE: O autor (2021)

Por fim, também foi avaliada a diferença acumulada da precipitação por área de contribuição, conforme ilustrado na FIGURA 62. É possível verificar que os maiores erros nos acumulados estão nas sub-bacias de cabeceira e de menor área de contribuição. À medida que a área de contribuição aumenta, o total acumulado no período de 2017 a 2020 se aproxima da equivalência.

É importante notar que nas localidades dos empreendimentos hidrelétricos as diferenças já não são tão expressivas. Observa-se nas usinas de Salto Santiago e Salto Osório um desvio maior, que é devido às contribuições de PCH Cavernoso e UHE Santa Clara, cujas sub-bacias apresentaram estimativas de chuva no Siprec muito superiores às das estações pluviométricas.

Ainda que a distribuição da precipitação seja um fator importante na modelagem distribuída, este equilíbrio nos desvios entre as fontes de precipitação pode ser um indicativo de que as simulações de vazão sejam, de certo modo, equivalentes nos pontos de maiores áreas de contribuição, pelo menos em relação aos volumes escoados.



FIGURA 62 - DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (2017 – 2020)

4.5 RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Conforme descrito no item 3.8, foram calibrados dois modelos: o Modelo I, utilizando os dados das estações pluviométricas, e o Modelo II com o uso dos dados do Siprec. A relação dos parâmetros finais está apresentada no ANEXO 3.

A TABELA 13 apresenta o resumo das métricas no processo de calibração e de validação do Modelo I, além de destacar a comparação de forma individualizada das métricas entre a calibração e a validação.

É possível verificar uma grande diversificação nos valores das métricas, com a existência de postos que apresentaram simulações com um ótimo desempenho, tanto na calibração quanto na validação, como é o exemplo de UHE Segredo (65803001) e Foz do Chopim (65963500). Por outro lado, se destacaram

FONTE: O autor (2021)

negativamente estações como Jangada (65370001), Porto Santo Antônio (65970001), Palmital do Meio (65415001) e PCH Cavernoso II (65855080) não apenas por apresentarem baixos valores de NSE e NSElog, mas também pelo alto valor no BIAS, indicando uma grande diferença no volume dos hidrogramas.

Nome	CALIBRAÇÃO (1998 - 2017)		VALIDAÇÃO (2018 - 2019)						
	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS
Rio Negro	0.727	0.793	-19.05%	0.850	0.879	-1.63%			
Porto Amazonas	0.777	0.807	-14.93%	0.922	0.837	-5.07%			
São Bento	0.693	0.700	9.86%	0.735	0.653	-4.95%		▼	
Pontilhão	0.604	0.747	-10.83%	0.558	0.534	-19.14%	▼	▼	▼
São Mateus do Sul	0.641	0.764	-16.57%	0.783	0.846	-8.48%			
Divisa	0.674	0.763	-6.53%	0.736	0.857	0.10%			
Fluviópolis	0.730	0.863	-12.38%	0.729	0.883	-5.63%			
Santa Cruz do Timbó	0.393	0.550	-17.01%	0.654	0.651	-15.65%			
União da Vitória	0.792	0.857	-10.46%	0.799	0.877	-5.26%			
Madeireira Gavazzoni	0.594	0.518	-2.93%	0.586	0.500	-20.37%		▼	▼
Jangada	0.403	0.462	14.22%	-5.129	0.090	78.63%	▼	▼	▼
UHE Foz do Areia	0.830	0.372	-4.47%	0.798	0.765	-2.57%	▼		
Solais Novo	0.587	0.685	19.02%	0.644	0.722	22.48%			▼
Porto Santo Antônio	0.410	0.312	-18.07%	0.570	-0.550	73.04%		▼	▼
Águas do Verê	0.768	0.832	-12.52%	0.859	0.837	0.03%			
UHE Segredo	0.869	0.891	-5.99%	0.812	0.817	-4.38%	▼	▼	
Foz do Chopim	0.815	0.841	-9.88%	0.872	0.759	3.41%		▼	
Santa Clara	0.699	0.751	-8.35%	0.754	0.733	-3.30%		▼	
UHE Salto Caxias	0.824	0.877	-8.30%	0.789	0.837	-2.29%	▼	▼	
Porto Capanema	0.524	0.390	-12.48%	0.188	-0.135	-11.44%	▼	▼	
Hotel Cataratas	0.497	0.287	-9.06%	0.184	-0.215	-8.08%	▼	▼	
UHE Salto Osório	0.873	0.895	-6.52%	0.803	0.845	-5.50%	▼	▼	
UHE Salto Santiago	0.871	0.892	-7.80%	0.787	0.825	-7.34%	▼	▼	
Fragosos	0.724	0.789	-1.15%	0.706	0.67	-6.73%	▼	▼	▼
Palmital do Meio	0.425	0.546	10.46%	0.417	0.553	-16.85%			▼
Porto Palmeirinha	0.830	0.806	-10.84%	0.897	0.718	10.52%		▼	
PCH Cavernoso II	0.758	0.649	-2.72%	0.524	0.573	-27.62%	▼	▼	▼
Foz do Cachoeira	0.288	0.200	35.34%	0.545	0.464	9.86%			
Fazenda Aurora	0.627	0.675	-4.15%	0.489	0.632	-7.18%	▼	▼	▼
		Aumento no valor da métrica					13	10	14
		Equivalência no valor da métrica				4	2	6	
	▼	Redução no valor da métrica					12	17	9

TABELA 13 - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO I

FONTE: O autor (2021)

Em relação à mudança nos valores das métricas entre a calibração e a validação, ocorreu uma tendência de piora no NSElog e uma melhora no BIAS na maioria das sub-bacias, indicando que no período de 2017 e 2018 o modelo não foi capaz de simular as vazões baixas de forma homogênea ao longo da bacia, mas que a diferença entre os volumes simulados e observados foram menores. Quanto ao NSE, em geral, houve um equilíbrio entre o número de bacias para os quais essa

métrica teve um melhor ou pior valor no período de validação em comparação ao período de calibração.

Entretanto, a avaliação isolada das métricas de desempenho quanto às suas variações dificulta o julgamento da qualidade da simulação como um todo. Assim, o ábaco para avaliação dos critérios de desempenho auxilia a análise conjunta da variação do NSE, NSElog e BIAS.

A FIGURA 63 apresenta os ábacos referentes à calibração e à validação do Modelo I. É possível verificar que a nuvem de pontos que tinham desempenho pelo menos "Satisfatórios" sofreu uma aproximação da região ótima em todo o ábaco. Por outro lado, alguns pontos localizados na região "Insatisfatória" no ábaco da calibração não foram mostrados no da validação pela existência de métricas negativas.

A FIGURA 64 apresenta o hidrograma observado e simulado a partir do Modelo I para a estação de Rio Negro (65100000), sendo possível verificar uma grande similaridade entre as vazões. Para esta localidade, o Modelo I foi capaz de representar de forma satisfatória tanto as altas vazões, acertando o tempo e a magnitude de muitos picos, quanto as vazões durante as recessões dos hidrogramas e as baixas vazões. Quanto às métricas, o NSE foi igual a 0,850, o NSElog igual a 0.879 e o BIAS igual a -1,6%, que de forma conjunta indicaram que a sub-bacia de Rio Negro foi uma das mais bem representadas pelo Modelo I.



FIGURA 63 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA O MODELO I

FONTE: O autor (2021)



FIGURA 64 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM RIO NEGRO (65100000)

FONTE: O autor (2021)

A boa representação do Modelo I também está associada à qualidade das séries pluviométricas e fluviométricas. Por exemplo, para estação de Jangada (65370000) os valores das métricas foram extremamente insatisfatórias, com NSE igual a -5,129, NSElog igual a 0,09 e BIAS igual a 78,6%. A FIGURA 65 mostra que as vazões simuladas no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019 são incompatíveis com as observadas. A análise feita no item 4.4 em relação às diferenças das precipitações entre as estações pluviométricas e as estimativas do Siprec para a localidade de Jangada (ilustrada anteriormente na FIGURA 57) mostraram que neste mesmo período ocorreu uma grande diferença entre os registros, com maiores valores para as estações pluviométricas. A partir disso e observando o hidrograma simulado, há um indicativo que de que existam dados de chuva errôneos na série das estações pluviométricas, fazendo com que as vazões simuladas sejam tão elevadas.

Um outro exemplo relacionado à qualidade das séries hidrológicas pode ser observado em Pontilhão (65208001), indicado na FIGURA 66. Apesar da série simulada apresentar um comportamento compatível com os eventos de precipitação, apresentando ascensão dos hidrogramas concordantemente à série observada, percebe-se que os hidrogramas da série observada não possuem um formato comum, sendo mais alargados, com recessão praticamente vertical. Como esta característica é presente em toda a série de vazões observadas, estes eventos podem estar relacionados à topografia local, por meio da existência de áreas inundáveis, as quais afetam a medição dos valores de cota e, consequentemente, a obtenção dos valores de vazão por meio de curva-chave.


FIGURA 65 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM JANGADA (65370000)

FONTE: O autor (2021)

FIGURA 66 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM PONTILHÃO (65208001)



FONTE: O autor (2021)

Além disso, a ação da operação de reservatórios nas séries de vazões também é um fator que interfere na avaliação das métricas, como é o caso de Porto Capanema (65987000) e Hotel Cataratas (65992500), indicadas na FIGURA 67 e na FIGURA 68. Ambas as estações estão localizadas na porção mais à jusante da bacia do rio Iguaçu, após a cascata de reservatórios. Por não ter ocorrido nenhuma correção referente à naturalização das séries fluviométricas, não é esperado que as métricas sejam satisfatórias devido as perturbações existentes.



FIGURA 67 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM PORTO CAPANEMA (65987000)

FONTE: O autor (2021)

FIGURA 68 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO I EM HOTEL CATARATAS (65992500)



FONTE: O autor (2021)

Para finalizar a avaliação das métricas quanto aos critérios de desempenho do ábaco, a FIGURA 69 apresenta as sub-bacias categorizadas tanto para o período de calibração quanto no de validação do Modelo I. É possível verificar que no período de validação ocorreu um incremento na quantidade de sub-bacias classificadas como "Muito Bom" e uma redução nas classificadas como "Insatisfatório", indicando uma boa representação do regime hidrológico do Modelo I no período mais recente de dados. Além disso, é importante ressaltar que nenhuma sub-bacia teve classificação como "Insatisfatório" na validação que já não estivesse assim classificada na calibração, sugerindo que o modelo não foi capaz de representar o regime hidrológico

dessas sub-bacias, ou que há algum problema nas séries de chuva e vazão nessas localidades.



FIGURA 69 - DESEMPENHO DO MODELO I AO LONGO DA BACIA DO RIO IGUAÇU

FONTE: O autor (2021)

Em relação ao Modelo II, a TABELA 14 apresenta o resumo da métricas no processo de calibração e de validação, destacando a comparação de forma individualizada das métricas. Verifica-se novamente uma grande diversificação nos valores das métricas, com postos que apresentaram simulações com um bom desempenho, tanto na calibração quanto na validação, como é o exemplo de UHE Segredo (65803001) e Foz do Cachoeira (65260001). Por outro lado, se destacaram negativamente estações como Porto Santo Antônio (65970001) e PCH Cavernoso II (65855080) que apresentaram erros de volumes bastante elevados.

Em relação à mudança nos valores das métricas entre a calibração e a validação, ocorreu uma melhor representação dos picos de vazão no ano de 2019 na maioria das estações, representado pelo aumento do NSE. Entretanto, houve uma piora no BIAS na maioria das sub-bacias e que, associada aos elevados valores desta

métrica no período de 2017 e 2018, observa-se que o Modelo II não simula corretamente o volume total escoado nos pontos. Isto pode ter relação com a dificuldade no próprio processo de calibração e validação, uma vez que o período utilizado é reduzido (quando comparado com o mesmo processo no Modelo I), e que, justamente por isso, a qualidade das séries, tanto de vazão quanto de precipitação, interfere de forma mais determinante nos valores das métricas. Quanto ao NSElog, em geral, houve um equilíbrio entre o número de bacias para os quais essa métrica teve um melhor ou pior valor no período de validação em comparação ao período de calibração.

Nome	CALIBRAÇÃO (2017 - 2018)				VALIDAÇ (2019)				
Nomo	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS
Rio Negro	0.666	0.680	-3.10%	0.837	0.806	-2.80%			
Porto Amazonas	0.361	0.467	-14.90%	0.753	0.588	23.60%			▼
São Bento	0.454	0.567	-0.30%	0.778	0.659	5.90%			▼
Pontilhão	0.538	0.629	-20.90%	0.619	0.762	-24.30%			▼
São Mateus do Sul	0.514	0.694	0.20%	0.557	0.367	34.40%		▼	▼
Divisa	0.691	0.705	-2.20%	0.738	0.809	3.10%			
Fluviópolis	0.695	0.726	-1.40%	0.692	0.698	15.80%		▼	▼
Santa Cruz do Timbó	0.602	0.668	-20.70%	0.761	0.675	-10.30%		▼	
União da Vitória	0.649	0.667	-7.80%	0.805	0.770	8.90%			
Madeireira Gavazzoni	0.391	0.222	6.30%	0.641	0.520	0.60%			
Jangada	0.413	0.640	-24.60%	0.586	0.710	-10.10%			▼
UHE Foz do Areia	0.697	0.704	-5.10%	0.845	0.749	11.20%			▼
Solais Novo	0.557	0.624	-3.40%	0.683	0.232	33.10%		▼	▼
Porto Santo Antônio	0.448	0.667	-19.60%	0.414	-0.435	123.60%	▼	▼	▼
Águas do Verê	0.267	0.323	-15.80%	0.735	0.697	-4.40%			
UHE Segredo	0.674	0.721	-8.20%	0.858	0.792	10.50%			
Foz do Chopim	0.296	0.379	-17.00%	0.732	0.591	-0.70%			
Santa Clara	0.477	0.528	10.10%	0.236	0.240	73.50%	▼	▼	▼
UHE Salto Caxias	0.525	0.657	-5.40%	0.772	0.671	23.10%			▼
Porto Capanema	-0.720	-0.818	-14.10%	-0.290	-0.063	8.10%			
Hotel Cataratas	-0.257	-0.407	-14.94%	-0.348	-0.193	9.40%			
UHE Salto Osório	0.603	0.679	0.60%	0.775	0.670	26.40%			▼
UHE Salto Santiago	0.604	0.674	-1.20%	0.776	0.675	25.20%			▼
Fragosos	0.503	0.641	-4.10%	0.699	0.514	-20.80%		▼	▼
Palmital do Meio	0.549	0.693	8.00%	0.760	0.705	-9.00%			
Porto Palmeirinha	-0.188	0.303	16.50%	0.860	0.569	26.40%			▼
PCH Cavernoso II	-1.525	-0.766	84.10%	-1.224	-0.597	154.70%	▼		▼
Foz do Cachoeira	0.616	0.702	-17.80%	0.769	0.786	-10.90%			
Fazenda Aurora	0.417	0.455	4.30%	0.603	0.245	60.80%		•	•
		Aumento no valor da métrica					22	18	6
		Equivalência no valor da métrica					4	3	6
	▼	Redução no valor da métrica						8	17

TABELA 14 - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO II

O ábaco para avaliação dos critérios de desempenho também foi construído com os resultados da calibração e da validação, ilustrado na FIGURA 70. É possível verificar que a nuvem de pontos se aproximou no sentido da região ótima no gráfico superior (NSE *versus* NSElog), mas que, no entanto, apresentou um deslocamento mais à direita, justamente pelo fato do desequilíbrio em relação ao desempenho do Modelo II ao representar os picos (NSE) e as baixas vazões (NSElog) no período de validação.



FIGURA 70 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA O MODELO II

Da mesma forma que ocorreu para o Modelo I, alguns pontos do Modelo II localizados na região "Insatisfatória" no ábaco da calibração não foram mostrados no ábaco da validação pela existência de métricas negativas, como é o caso das séries das estações de Porto Capanema (65987000) e Hotel Cataratas (65992500), as quais são influenciadas pela operação de reservatórios da cascata do rio Iguaçu. Outras métricas negativas foram observadas em Porto Santo Antônio (65970001) e em PCH Cavernoso II (65855080), nas quais também foi observado erros nos volumes simulados muito elevados, como ilustrado na FIGURA 71 e na FIGURA 72. Aliás, a existência de valores considerados insatisfatórios de BIAS foi de 31% dos pontos (9 estações) no período da calibração e em 48,3% (14 estações) no período de validação.

FONTE: O autor (2021)



FIGURA 71 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO II EM PORTO SANTO ANTÔNIO (65970001)

FONTE: O autor (2021)





FONTE: O autor (2021)

Em ambos os hidrogramas é possível verificar que as vazões simuladas foram superiores aos valores observados, mas que grande parte dos eventos de cheia foram representados, mesmo que com intensidades distintas. Este tipo de diferença pode estar associado a um valor do parâmetro W_m (espessura da camada de solo) muito baixo, que resultaria em um maior valor do escoamento superficial, ou ainda pode estar associado a um valor muito elevado nas estimativas de precipitação, principalmente no primeiro semestre de 2019.

No caso da estação de Porto Santo Antônio, uma avaliação das vazões simuladas no período de calibração, ilustrado na FIGURA 73, indica uma razoável concordância com as vazões observadas, sugerindo que os valores dos parâmetros para essa sub-bacia não seriam os principais responsáveis pelo baixo desempenho no período de validação, mas sim que a estimativa de precipitação do Siprec seria o real motivo para os elevados valores de BIAS.

FIGURA 73 - HIDROGRAMAS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO II EM PORTO SANTO ANTÔNIO



FONTE: O autor (2021)

Todavia, a suposição de que haveria uma superestimativa das precipitações por meio do Siprec contradiz, em um primeiro momento, o analisado no item 4.4 por meio da FIGURA 55, que comparou a estação pluviométrica de Porto Santo Antônio, mas que, entretanto, foi feita de forma pontual. A FIGURA 74 apresenta a análise espacial das diferenças de precipitação acumulada para toda a sub-bacia de Porto Santo Antônio, indicando também a simulação das vazões no período de 2017 a 2019, contemplando assim ambos os períodos de calibração e validação.

De fato, ao longo de todo o período, o valor da precipitação acumulada no exutório da bacia é maior na interpolação dos dados dos pluviômetros, como observado originalmente. Entretanto, é possível perceber que na porção leste da subbacia as precipitações acumuladas estimadas pelo Siprec são maiores. Por se tratar de um modelo semi-distribuído, as vazões geradas nessa região são propagadas para jusante e, assim, contribuem para que as vazões simuladas no exutório da sub-bacia

resultem em elevados valores, notadamente no início de 2017 e entre dezembro de 2018 a abril de 2019.

FIGURA 74 - ANÁLISE DISTRIBUÍDA DA PRECIPITAÇÃO EM PORTO SANTO ANTÔNIO E VAZÕES OBSERVADAS E SIMULADAS DE 2017 A 2019





A FIGURA 75 comprova a grande diferença entre as estimativas de precipitações por meio do Siprec nas duas regiões, que distam cerca de 50 km entre si. Os períodos nos quais os hidrogramas simulados apresentam valores superiores aos observados ocorrem justamente quando as estimativas de precipitação na região leste da bacia são elevadas. Além disso, resgatando as informações expostas na análise pontual da FIGURA 55, a partir de outubro de 2017 até abril de 2018, os registros das estações pluviométricas são superiores às estimativas do Siprec, e é

possível verificar que as vazões observadas, neste mesmo período, são superiores às vazões simuladas pelo Modelo II.



FIGURA 75 - ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO EM DOIS PONTOS LOCALIZADOS NA SUB-BACIA DE PORTO SANTO ANTÔNIO

FONTE: O autor (2021)

Além disso, é importante notar que a série de vazões observadas em Porto Santo Antônio apresenta um comportamento suspeito a partir de junho de 2019, com registros próximos a zero e sem apresentar qualquer variação, mesmo frente às pequenas precipitações registradas, até novembro do mesmo ano. Este comportamento pode estar associado a um travamento dos sensores de nível da estação telemétrica, por exemplo. Desta forma, apesar de os erros nas estimativas do Siprec serem grandes responsáveis pela dificuldade da calibração desta sub-bacia, a qualidade da série de vazão observada contribui para que resultado das métricas de desempenho seja insatisfatório.

Retomando às sub-bacias com altos valores de BIAS, o que ocorre em PCH Cavernoso II evidencia ainda mais a limitação das estimativas do Siprec nesta região da bacia do rio Iguaçu. A FIGURA 76 indica o período de calibração do Modelo II, sendo possível identificar um período no qual o ajuste de vazões é satisfatório (janeiro de 2018 a agosto de 2018), um curto período de subestimação de vazão (outubro de 2017 a janeiro de 2018), e dois períodos com altos valores de vazões simuladas (de janeiro de 2017 a outubro de 2017, e agosto de 2018 a dezembro de 2018).

Estes períodos de diferença são compatíveis com o observado na análise da estação de Vau dos Ribeiros (2552062), que está localizada na sub-bacia de PCH Cavernoso II. Anteriormente, na FIGURA 58, foi observado que a precipitação pontual naquela localidade indicava o mesmo padrão temporal (de subestimação e superestimação) nas diferenças das estimativas do Siprec. Este padrão também foi verificado na estação de PCH Cavernoso II, apresentada no ANEXO 5.



FONTE: O autor (2021)

Estas evidências demonstram que, apesar de em alguns períodos as estimativas do Siprec serem boas representações do regime de precipitação nesta região, majoritariamente elas foram superestimadas, resultando em valores simulados pelo Modelo II muito superiores aos valores observados.

A FIGURA 77 apresenta as vazões em todo o período de calibração e validação em PCH Cavernoso II, indicando a precipitação acumulada na sub-bacia a cada ano. Em todos os anos o acumulado de precipitação foi superior no conjunto de dados do Siprec, sendo necessário ressaltar que em 2017 não há uma grande saturação no mapa pela existência do período de subestimação de chuva, que diminui

as diferenças. A partir disso, fica explícito que as métricas insatisfatórias, principalmente o valor do BIAS elevado, não são consequências de uma parametrização inadequada, mas sim dos erros nas estimativas de precipitação.

FIGURA 77 - ANÁLISE DISTRIBUÍDA DA PRECIPITAÇÃO EM PCH CAVERNOSO II E VAZÕES OBSERVADAS E SIMULADAS DE 2017 A 2019





Apesar da existência de diversas métricas insatisfatórias ao longo da bacia do rio Iguaçu, o Modelo II teve um desempenho melhor que o Modelo I para a sub-bacia de Jangada (65370000) no período de calibração e validação, por exemplo. Como verificado anteriormente na avaliação pontual da precipitação nesta localidade (FIGURA 57), havia um acumulado de precipitação muito maior na série das estações pluviométrica que nas estimativas do Siprec. Outra constatação, apresentada no

hidrograma resultante do Modelo I (FIGURA 65), indicam a existência de precipitação em demasia, ocasionando um valor de vazão simulada muito elevado, com grande diferença em relação às vazões observadas. O Modelo II, por sua vez, conseguiu representar de forma mais satisfatória as vazões nessa sub-bacia, como indicado na FIGURA 78, principalmente no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019.

FIGURA 78 - HIDROGRAMAS SIMULADOS PELO MODELO II EM JANGADA (65370000) NO



FONTE: O autor (2021)

Além disso, o Modelo II apresentou bons desempenhos na simulação de vazão de outras sub-bacias, sendo a melhor Rio Negro (65100001), como ilustrado na FIGURA 79, para a qual as três métricas tiveram classificação "Muito Bom".

FIGURA 79 - HIDROGRAMAS NA VALIDAÇÃO DO MODELO II EM RIO NEGRO (65100001)



Finalmente, a FIGURA 80 apresenta as sub-bacias categorizadas tanto para o período de calibração quanto para o de validação do Modelo I. É possível verificar que, de fato, poucas sub-bacias tiveram classificação "Muito Bom" e "Bom", principalmente no período de calibração, indicando um desempenho geral inferior ao Modelo I. Em relação às sub-bacias com classificação "Insatisfatória", percebe-se que as sub-bacias localizadas majoritariamente em regiões com grandes saturações da FIGURA 53 e com pequenas áreas de contribuição são as que apresentaram piores desempenhos.



FIGURA 80 - DESEMPENHO DO MODELO II AO LONGO DA BACIA DO RIO IGUAÇU

4.6 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO

Como descrito no item 3.9, após o processo de calibração e validação individual dos modelos, foi executada uma avaliação de desempenho dos modelos para períodos comum.

Inicialmente, foram simuladas as vazões ao longo do ano de 2020, sendo necessário mencionar que nem todas as sub-bacias foram consideradas nesta avaliação. As seis usinas hidrelétricas, cujas séries correspondem às vazões naturalizadas, foram excluídas pelo motivo de que os dados correspondentes ao ano de 2020 serão disponibilizados pelo ONS apenas no final do ano de 2021. Além disso, também não foram consideradas as estações de Porto Capanema (65987001) e Hotel Cataratas (65992500), por conta da grande influência da operação hidráulica dos reservatórios nestas séries. Por fim, as estações de Porto Santo Antônio (65970001), PCH Cavernoso II (65855080) e São Bento (65155001) também foram excluídas pela existência de longas falhas e inconsistências nas séries de dados ao longo do ano considerado. Desta forma, um total de 18 estações foram consideradas na simulação das vazões, indicadas na TABELA 15, incluindo os respectivos resultados.

Nome	MODELO I (●)			MODELO II (●)			AVALIAÇÃO		
	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS
Rio Negro	0.69	0.74	15.0%	0.78	0.61	11.4%	•	٠	•
Porto Amazonas	0.80	0.82	-3.8%	0.81	0.84	-1.7%	•	•	•
Pontilhão	0.51	0.57	-5.9%	0.47	0.25	6.1%	•	•	•
São Mateus Do Sul	0.53	0.74	2.1%	0.68	0.83	-8.1%	•	•	•
Divisa	0.67	0.57	31.1%	0.63	0.49	6.8%	•	•	•
Fluviópolis	0.75	0.67	19.7%	0.65	0.54	3.0%	•	•	•
Santa Cruz Do Timbó	0.46	0.49	16.6%	0.44	0.42	-6.1%	•	•	•
União Da Vitória	0.72	0.53	29.3%	0.55	0.28	13.8%	٠	•	•
Madeireira Gavazzoni	0.04	-0.10	51.1%	0.58	0.26	14.5%	•	•	•
Jangada	0.33	0.52	-15.7%	0.37	0.53	-30.0%	•	•	•
Solais Novo	0.56	0.50	27.2%	0.54	0.15	32.0%	•	•	•
Águas Do Verê	0.78	0.50	26.9%	0.80	0.62	7.7%	•	•	•
Foz Do Chopim	0.70	0.39	34.5%	0.77	0.47	14.1%	•	•	•
Fragosos	0.45	0.54	-17.5%	0.52	0.32	15.8%	•	•	•
Palmital Do Meio	0.29	0.03	54.7%	0.47	0.59	-4.1%	•	•	•
Porto Palmeirinha	0.56	0.46	21.9%	0.77	0.43	13.5%	•	•	•
Foz Do Cachoeira	-0.14	0.23	52.6%	0.55	0.45	7.2%	•	•	•
Fazenda Aurora	0.60	0.26	28.6%	0.72	0.65	-0.8%	•	•	•
	٠	Modelo I com melhor desempenho					2	8	2
	•	Modelo II com melhor desempenho					9	7	11
	•	Equivalência nos desempenhos						3	5

TABELA 15 – MÉTRICAS DE DESEMPENHO DAS SIMULAÇÕES DE VAZÃO DO ANO DE 2020

De forma geral, houve um equilíbrio na representação das vazões baixas, com melhores valores de NSElog para o Modelo I em 44,4% (8 sub-bacias) e para o Modelo II em 38,9% (7 sub-bacias). Em relação ao BIAS, o Modelo II apresentou os melhores valores em 61,1% (11 sub-bacias) enquanto o Modelo I simulou melhor os volumes escoados em apenas 11,1% (2 sub-bacias) das localidades. No tocante ao NSE, novamente o Modelo II obteve certo destaque, com melhor representação dos picos em 50% das sub-bacias.

O GRÁFICO 4 apresenta os diagramas de caixa das métricas de desempenho da simulação para o ano de 2020. De forma visual, é possível verificar os melhores valores do Modelo II para NSE, uma vez que o seu diagrama se encontra mais elevado. Para o NSElog, é possível perceber certa equivalência entre os diagramas, apesar do Modelo I apresentar uma menor dispersão. Finalmente, por meio do diagrama do BIAS, ambos os modelos tiveram uma tendência em superestimar os volumes escoados, mas o Modelo II foi o que apresentou menores erros.



GRÁFICO 4 - DIAGRAMAS DE CAIXA DAS MÉTRICAS DE DESEMPENHO PARA 2020

FONTE: O autor (2021)

Em relação aos *Outliers*, o Modelo I não teve uma boa representação dos picos em Foz do Cachoeira (65260001), apresentando um NSE negativo, nem as vazões baixas em Madeireira Gavazonni (65764001), indicado pelo NSElog insatisfatório. Já o Modelo II apresentou um valor de BIAS de -30% para Jangada (65370001), sendo um dos poucos pontos a apresentarem uma subestimação do volume escoado, inclusive para o Modelo I, cujo BIAS foi de -15,7%.

Os hidrogramas da simulação para os 18 pontos estão apresentados no ANEXO 6. A partir deles é possível verificar que há um descolamento evidente entre os hidrogramas simulados por ambos os modelos e os hidrogramas observados, e por isso na maioria das sub-bacias ocorreu uma superestimação dos volumes escoados. Esta constatação indica que ambos os modelos não foram capazes de simular vazões tão baixas iguais às ocorridas no ano de 2020.

Outra característica importante que corrobora para os menores valores no BIAS do Modelo II é a diferença na precipitação ao longo do ano de 2020. A FIGURA 81 ilustra os acumulados da precipitação interpolada ao longo da bacia, indicando as diferenças relativas entre as estações pluviométricas e o Siprec. As diferenças indicam que na maior parte da bacia as estimativas do Siprec foram inferiores às registradas pelas estações pluviométricas no ano de 2020, com exceção da região que próximo a PCH Cavernoso II, cujas análises anteriores já indicaram superestimativa de precipitação por meio do Siprec.





As diferenças são caluladas a partir da subtração dos acumulados do Siprec dos acumulados das Estações Pluviométricas. A cor vermelha indica maiores acumulados do Siprec (diferenças negativas) e a cor azul indica maiores acumulados das Estações Pluviométricas (diferenças positivas)

A TABELA 16 apresenta um comparativo entre vazões de 2020 e a porcentagem de excedência destes valores nos períodos utilizados na calibração e na validação do Modelo I (1998 – 2019) e do Modelo II (2017 a 2019). As vazões de referência da série de 2020 foram a Q95 e a Q50.

Fataaãa	Q95 (m³/s)	Excedê	ncia (%)	Q50 (m³/s)	Excedê	ncia (%)
Estação	2020	Modelo I	Modelo II	2020	Modelo I	Modelo II
Foz Do Cachoeira	0.9	100.0	99.9	5.4	78.3	71.7
Palmital Do Meio	1.0	100.0	100.0	2.3	93.2	82.3
Jangada	2.5	99.7	100.0	6.6	92.1	81.2
Madeireira Gavazzoni	2.6	97.0	94.1	9.4	76.2	71.0
Pontilhão	4.2	98.8	99.6	11.0	82.9	71.9
Solais Novo	4.2	98.8	100.0	12.6	88.5	81.9
Fragosos	4.4	99.0	100.0	8.1	91.1	89.7
Santa Cruz Do Timbó	4.6	99.9	100.0	12.4	94.5	86.5
Fazenda Aurora	5.5	100.0	100.0	16.5	83.6	73.9
Porto Palmeirinha	10.4	99.1	100.0	27.1	86.7	82.6
Porto Amazonas	11.5	99.9	99.8	23.4	93.5	89.4
Rio Negro	12.4	99.5	100.0	26.2	91.2	88.3
Foz Do Chopim	16.0	99.9	100.0	63.7	83.9	81.7
São Mateus Do Sul	18.0	100.0	100.0	39.2	91.9	85.1
Águas Do Verê	20.0	99.1	100.0	58.8	85.1	84.0
Divisa	23.3	99.6	100.0	54.8	88.5	85.8
Fluviópolis	38.2	100.0	99.9	123.2	90.0	84.9
União Da Vitória	52.5	100.0	100.0	153.3	90.8	84.4

TABELA 16 - VAZÕES Q95 E Q50 EM 2020 E RESPECTIVAS EXCEDÊNCIAS NO PERÍODO DE CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

FONTE: O autor (2021)

Em relação à Q95, a excedência das vazões foi bastante expressiva, com diversas estações não registrando valores tão baixos em toda a série histórica. Os valores de excedência variaram de 98,8% a 100% no período de 1998 a 2019, e de 94,1% a 100% no período de 2017 a 2019. Quanto à Q50, as excedências também foram elevadas, indicando que a mediana da vazão no ano de 2020 também foi superada consideravelmente. Os valores de excedência variaram de 76,2% a 94,5% no período de 1998 a 2019 e de 71,0% a 89,7% no período de 2017 a 2019.

Estes dados indicam que nem o Modelo I nem o Modelo II foram calibrados ou validados para vazões tão reduzidas, justificando-se assim os valores de BIAS insatisfatórios e as diferenças entre hidrogramas observados e simulados.

Por fim, foram gerados os mapas de distribuição dos desempenhos ao longo da bacia do rio Iguaçu para o ano de 2020, considerando as métricas NSE (FIGURA 82), NSElog (FIGURA 83) e BIAS (FIGURA 84), com a indicação de qual modelo apresentou melhor desempenho, ou se houve equivalência entre os modelos na representação das vazões.

Em relação ao NSE, o Modelo I apresentou desempenho superior nos pontos ao longo do rio Iguaçu com grande área de contribuição, enquanto o Modelo II se destacou em algumas bacias de cabeceira. Quanto ao NSElog, os desempenhos foram distribuídos entre o Modelo I e Modelo II, sendo o primeiro melhor em estações do leste da bacia, enquanto o segundo se destacou novamente em algumas subbacias menores, de cabeceira. Finalmente, considerando o BIAS, verificou-se que o fato de as estimativas de precipitações do Siprec serem inferiores aos das estações pluviométricas no ano de 2020 resultou em menores volumes simulados.

Apesar da comparação para o ano de 2020 ter apontado uma certa equivalência entre os desempenhos, ou até mesmo uma superioridade do Modelo II em alguns aspectos, é importante notar que muitas métricas, mesmo que superiores às do Modelo I, ainda são insatisfatórias. Mesmo assim, o fato de o período de baixas vazões de 2019 ser proporcionalmente mais relevante no período de calibração e validação do Modelo II também pode ter colaborado com o melhor desempenho.



FIGURA 82 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020 CONSIDERANDO O NSE

A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica NSE: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).



FIGURA 83 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020 CONSIDERANDO O NSElog

A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica NSElog: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).

FONTE: O autor (2021)

FIGURA 84 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA O ANO DE 2020 CONSIDERANDO O BIAS



A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica BIAS: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).

162

Dada a peculiaridade do ano de 2020, seja pela crise hídrica ou pela indisponibilidade de dados em diversos pontos, entendeu-se que a avaliação desse ano de forma isolada dificultaria a avaliação dos modelos calibrados. Dessa forma, prosseguiu-se para a avaliação em todo o período em comum de dados, de 2017 a 2020, cujos resultados estão apresentados na TABELA 17.

	MODELO I			MODELO II			AVAI IACÃO		
Nome		(●)			(●)			····	<u> </u>
	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS	NSE	NSElog	BIAS
Rio Negro	0.87	0.88	-0.6%	0.72	0.67	7.9%	٠	•	•
Porto Amazonas	0.88	0.88	-7.1%	0.63	0.69	-6.2%	٠	•	•
São Bento	0.78	0.55	9.5%	0.57	0.30	19.0%	•	•	•
Pontilhão	0.57	0.66	-21.7%	0.49	0.45	4.0%	•	•	•
São Mateus Do Sul	0.71	0.84	-8.9%	0.62	0.74	5.8%	•	•	•
Divisa	0.80	0.82	6.6%	0.65	0.63	9.4%	٠	•	•
Fluviópolis	0.81	0.86	-2.6%	0.65	0.66	9.1%	•	•	٠
Santa Cruz Do Timbó	0.62	0.65	-12.1%	0.60	0.61	-9.3%	•	•	•
União Da Vitória	0.81	0.79	-1.4%	0.65	0.57	7.1%	•	•	•
Madeireira Gavazzoni	0.54	0.34	3.0%	0.51	0.32	9.3%	•	•	•
Jangada	-1.34	0.36	40.7%	0.45	0.65	-21.3%	•	•	•
UHE Foz Do Areia	0.82	0.81	-3.3%	0.68	0.62	7.0%	•	•	•
Solais Novo	0.70	0.75	13.3%	0.43	0.37	25.2%	•	•	•
Porto Santo Antônio	0.41	0.05	16.6%	0.36	0.20	16.9%	•	•	•
Águas Do Verê	0.85	0.79	0.0%	0.47	0.57	-10.1%	•	•	•
UHE Segredo	0.82	0.86	-7.3%	0.64	0.62	5.4%	•	•	•
Foz Do Chopim	0.86	0.73	3.3%	0.48	0.54	-9.1%	•	•	•
UHE Santa Clara	0.80	0.77	-4.7%	0.08	0.33	35.7%	•	•	٠
UHE Salto Caxias	0.81	0.86	-7.8%	0.52	0.58	7.8%	•	•	•
Porto Capanema	0.24	0.17	-8.5%	-0.27	0.04	-2.3%	•	•	•
Hotel Cataratas	0.28	0.26	-2.2%	-0.23	0.12	1.6%	•	•	•
UHE Salto Osório	0.81	0.87	-9.5%	0.51	0.55	15.3%	•	•	٠
UHE Salto Santiago	0.80	0.86	-11.0%	0.52	0.55	13.7%	•	•	•
Fragosos	0.72	0.73	-11.1%	0.65	0.64	3.7%	•	•	•
Palmital Do Meio	0.46	0.43	10.6%	0.61	0.68	9.4%	•	•	•
Porto Palmeirinha	0.82	0.71	1.8%	0.18	0.46	21.5%	•	•	•
PCH Cavernoso II	0.63	0.65	-3.4%	-1.76	-0.75	112.4%	•	•	•
Foz Do Cachoeira	0.50	0.45	18.0%	0.67	0.66	-3.5%	•	•	•
Fazenda Aurora	0.59	0.56	7.8%	0.40	0.42	26.6%	•	•	•
	•	Modelo I com melhor desempenho					23	23	13
	•	Modelo II com melhor desempenho					3	4	5
	•	Equivalência nos desempenhos						2	11

TABELA 17 - MÉTRICAS DE DESEMPENHO DAS SIMULAÇÕES DE VAZÃO (2017 – 2020)

FONTE: O autor (2021)

De acordo com os resultados, percebe-se que o Modelo I superou o Modelo II com 79,3% (23 sub-bacias) de melhor representação dos picos e baixas vazões, com valores de NSE e NSElog classificados como "Bons" e "Muito Bons" (acima de 0,7) em 17 sub-bacias, enquanto para o BIAS o Modelo I foi superior em 44,8% (13 sub-

bacias). Entretanto, ocorreu equivalência entre os modelos em 37,9% (11 sub-bacias) na simulação dos volumes escoados.

O GRÁFICO 4 apresenta os diagramas de caixa das métricas de desempenho da simulação para o período de 2017 a 2020. Quanto ao NSE, é possível notar valores superiores para o Modelo I, com um valor de mediana elevada, igual a 0,78, enquanto para o Modelo II este valor foi de 0,52. Na avaliação do NSElog, observa-se uma maior dispersão das métricas em ambos os modelos, porém visivelmente o Modelo I apresentou melhores valores. Em relação ao BIAS, verifica-se que na maior parte das sub-bacias o Modelo I teve uma simulação do volume total escoado bastante satisfatória, com um equilíbrio entre subestimação e superestimação, enquanto o Modelo II apresentou desvios maiores, em grande parte superestimados.



FONTE: O autor (2021)

Alguns *Outliers* não foram apresentados devido os limites do gráfico, como os valores de NSE e NSElog negativos ou BIAS muito altos, ocorridos em Jangada (65370001) no Modelo I e em PCH Cavernoso II (65855080) no Modelo II. As estações de Porto Capanema (65987000) e Hotel Cataratas (65992500) também apresentaram valores negativos de métricas pelo Modelo II, e valores bastante insatisfatórios por meio do Modelo I, mas esta característica é justificada pela operação hidráulica dos reservatórios, já mencionada, que dificulta a simulação de vazões.

Especificamente falando de Jangada e de PCH Cavernoso II, a análise dos hidrogramas permite verificar que nestas localidades, a qualidade insatisfatória das

simulações está associada aos problemas nos dados de precipitação, que refletem em valores de vazões muito elevados. Todos os hidrogramas simulados para os 29 pontos da bacia do rio Iguaçu no período de 2017 a 2020 estão apresentados no ANEXO 7.

Também foram gerados os mapas de distribuição dos desempenhos ao longo da bacia do rio Iguaçu para o período de 2017 a 2020, considerando as métricas NSE (FIGURA 85), NSElog (FIGURA 86) e BIAS (FIGURA 87), com a indicação de qual modelo apresentou melhor desempenho, ou se houve equivalência entre os modelos na representação das vazões.

Como verificado, o Modelo I teve um desempenho superior na maioria das localidades, principalmente em relação ao NSE e NSElog. Em relação aos volumes escoados, o mapa de BIAS indica que ocorreu um equilíbrio em diversos pontos, principalmente naqueles com grande área de contribuição, como é o caso dos empreendimentos hidrelétricos.



FIGURA 85 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O NSE

A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica NSE: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).



FIGURA 86 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O NSElog

A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica NSElog: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).

FONTE: O autor (2021)

O Modelo II teve um melhor desempenho em bacias de cabeceira, com áreas de contribuição reduzidas e localizadas na região do reservatório da UHE Foz do Areia e União da Vitória. Apesar das métricas superiores, estas ainda não são classificadas como "Boas" ou "Muito Boas".

Finalmente, elaborou-se o ábaco para a avaliação das métricas de forma conjunta, ilustrado na FIGURA 88. Os resultados indicam que o Modelo I foi capaz de simular as vazões em 75,8% (21 sub-bacias) de modo pelo menos "Satisfatório", enquanto o Modelo II atingiu o valor de 62,1% (18 sub-bacias), não representando uma diferença tão significativa. Entretanto, o Modelo II não foi capaz de obter simulações além desta classificação, enquanto o Modelo I atingiu 24,1% (7 sub-bacias) de simulações "Boas" e 34,5% (10 sub-bacias) de simulações "Muito Boas". As localidades insatisfatórias foram 24,1% (7 sub-bacias) no Modelo I e 37,9% (11 sub-bacias) no Modelo II, das quais 13,8% (4 sub-bacias) são comuns, que são Madeireira Gavazzoni, Porto Santo Antônio, Porto Capanema e Hotel Cataratas.



FIGURA 87 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA 2017-2020 CONSIDERANDO O BIAS

A cor do posto indica qual modelo obteve o melhor desempenho ou a equivalência entre desempenhos considerando a métrica BIAS: Modelo I (azul), Modelo II (vermelho), Equivalência (amarelo).

FONTE: O autor (2021)



FIGURA 88 - ÁBACO DOS CRITÉRIOS DE DESEMPENHO (2017 – 2020)

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi avaliada a calibração de um modelo hidrológico com o uso de estimativas de chuva derivadas do Sensoriamento Remoto. Estas estimativas foram obtidas de um sistema chamado Siprec, que integra dados da rede de estações pluviométricas, estimativas de precipitação por satélite e observações de radares meteorológicos. O modelo utilizado foi o MGB-IPH para o cálculo de vazões diárias na bacia do rio Iguaçu, e a avaliação da qualidade das simulações considerou três métricas de desempenho.

Os resultados indicaram que as estimativas de chuva por meio do Siprec tendem a superestimar as precipitações na área de abrangência do radar meteorológico de Teixeira Soares e a subestimar na área de abrangência do radar de Cascavel. Esta avaliação se deu a partir da comparação entre a interpolação das estimativas de chuva e dos registros das estações pluviométricas. Tais diferenças podem estar associadas aos parâmetros da relação Z-R de Marshall-Palmer, mas também à fatores físicos como distorções dos sinais na atmosfera e bloqueio devido à topografia.

Além disso, outro fator importante no Siprec que pode ser avaliado é a parcela das estimativas de satélite, que podem estar corroborando com a subestimação da precipitação em regiões como as do extremo leste da bacia do rio Iguaçu (Serra do Mar) e algumas localidades da porção média com elevadas altitudes (Serra Geral). Estas estimativas de chuva a partir de bandas espectrais do infravermelho são calibradas para discriminar nuvens chuvosas das não chuvosas, baseada na temperatura de topo, e este tipo de medição pode subestimar chuvas orográficas que ocorrem nestas regiões.

Foram observadas diferenças entre as quantidades de dias de chuva observadas e estimadas, com as maiores diferenças ocorrendo nas áreas de interseção entre os radares meteorológicos. Apesar disso, verificou-se que as diferenças entre as precipitações tendem a diminuir à medida que a área de contribuição da bacia aumenta. Esta característica não significa propriamente um ponto positivo, mas sugere que para modelos concentrados, cuja precipitação seja resultado de um valor médio na bacia, as diferenças observadas no Siprec podem não gerar impactos tão grandes na simulação de vazão como em ocorre em modelos distribuídos. O processo de calibração e validação foi dificultado pela existência de inconsistências nas séries de vazão e de precipitação, fato que explicita a necessidade de consistência de dados antes da modelagem. Não apenas a remoção de dados espúrios, como a que foi executada neste trabalho, mas também a investigação de erros sistêmicos existentes nas séries, como por exemplo o travamento de sensores de nível nas estações fluviométricas, que geram sequência de valores similares nas séries de vazões. Vale ressaltar que esta problemática é inerente aos sensores automáticos e dificilmente controles de qualidade implementados em bancos de dados serão capazes de detectar e remover todos os erros, sendo sempre necessário uma avaliação manual das séries.

Apesar destes contratempos na calibração e validação, ambos os modelos simularam vazões de forma satisfatória para maioria das sub-bacias nesta etapa do trabalho, com o modelo que utilizou os dados apenas das estações pluviométricas resultando em métricas superiores. O menor desempenho do modelo calibrado com as estimativas do Siprec nesta etapa está associado a duas principais características:

- a primeira evidentemente é causada pelas diferenças da precipitação, principalmente as superestimações em algumas regiões, que resultaram em valores simulados de vazão também elevados. Por conta do aspecto distribuído do modelo MGB-IPH, as vazões geradas nas minibacias sob estes grandes desvios são propagadas à jusante por meio da rede de drenagem e, deste modo, influenciam as vazões do exutório da sub-bacia;
- a segunda corresponde ao menor período de dados, para o qual as deficiências tanto nas séries simuladas (por conta dos erros de precipitação) quanto nas observadas (devido a falhas da telemetria) têm proporcionalmente mais peso para a calibração/validação e posterior cômputo das métricas.

A simulação chuva-vazão para o ano de 2020 destacou a importância da frequente recalibração de modelos hidrológicos, principalmente na ocorrência de eventos extremos. O evento de seca iniciou em junho de 2019 e se estendeu pelo menos até junho de 2020, resultando em um regime atípico de vazões em toda a bacia do Iguaçu. Deste modo, nenhum dos modelos calibrados e validados foi capaz de

simular vazões tão baixas, provavelmente pelo fato de que eventos desta magnitude não estarem contemplados no conjunto de dados utilizados para suas parametrizações. Apesar disso, vale apontar que o modelo calibrado com dados do Siprec atingiu métricas mais satisfatórias que o modelo com dados das estações pluviométricas. Isso indica que o período do ano de 2019 utilizado no processo de validação dos modelos, que proporcionalmente é maior para o modelo calibrado com o Siprec, permitiu uma melhor adequação dos parâmetros daquele modelo para um cenário de seca.

A avaliação no período em comum de dados (2017 a 2020) indicaram que ambos os modelos apresentaram resultados satisfatórios na maioria dos pontos de simulação, sendo o modelo com melhor desempenho o calibrado com os dados apenas das estações pluviométricas. De maneira geral, os desvios existentes nas estimativas do Siprec reduzem a habilidade do modelo MGB-IPH simular picos de vazão, recessões e vazões baixas, e assim influenciam nos volumes totais escoados. Outra constatação interessante foi a equivalência nos volumes escoados em subbacias com grandes áreas de contribuição, que provavelmente resultam do equilíbrio entre as subestimativas e superestimativas do Siprec ao longo da bacia.

Apesar disso, os resultados do modelo calibrado com o Siprec demonstraram eficácia em algumas regiões, principalmente em pontos nos quais o modelo calibrado com as estações pluviométricas não foi capaz de simular as vazões, como é o caso de Jangada, Palmital do Meio e Foz do Cachoeira. Estas sub-bacias possuem características em comum: são bacias de cabeceira, com pequenas áreas de contribuição e localizadas na mesma região. Dessa forma, pode-se afirmar que as estimativas do Siprec nesta região foram mais adequadas e que as vazões não sofrem influência da propagação das vazões de regiões à montante cujas estimativas de chuva apresentem maiores erros, como é o caso de União da Vitória.

A hipótese de que os resultados das simulações chuva-vazão de um modelo hidrológico quando calibrado com um produto de precipitação fossem equivalentes ou superiores que quando calibrado com dados apenas de pluviômetros não pôde ser totalmente verificada em decorrência dos desvios encontrados nas estimativas do Siprec. Tais desvios foram determinantes para a não acurácia da modelagem das vazões, impedindo uma justa avaliação do desempenho de uma estimativa de chuva mais especializada frente às observações pontuais das estações pluviométricas. Entretanto, é importante ressaltar que o Siprec também foi uma ferramenta prática para a detecção de erros grosseiros nas observações da rede pluviométrica em uma pequena região da bacia do rio Iguaçu.

Na literatura há uma grande variabilidade nos resultados de trabalhos que abordam a mesma temática, e uma conclusão frequente é que os resultados podem ser melhorados a partir da correção desses produtos. Neste sentido, sugere-se que algumas componentes que formam o Siprec sejam revisitadas, como a verificação os parâmetros dos radares meteorológicos ou uma avaliação de uma distribuição de pesos entre os dados dos radares, satélites e estações pluviométricas, principalmente em áreas com grande variabilidade topográfica e de superposição de observações.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M. B. et al. An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. **Journal of Hydrology**, v. 87, n. 1–2, p. 45–59, 1986a.

ABBOTT, M. B. et al. An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. **Journal of Hydrology**, v. 87, p. 61–77, 1986b.

ABRO, M. I. et al. Statistical and qualitative evaluation of multi-sources for hydrological suitability inflood-prone areas of Pakistan. **Journal of Hydrology**, v. 588, n. April, p. 125117, 2020.

ADLER, R. F. et al. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, n. 6, p. 1147–1167, 2003.

ALMEIDA, K. N. Análise De Desempenho Do Satélite Trmm Na Estimativa De Precipitação Sobre a Região Hidrográfica Do Rio Itapemirim. **Dissertação de Mestrado**, p. 125, 2017.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANA. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Disponível em: http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732_0. Acesso em: 27 maio. 2020.

ANA. **ANA inicia reuniões da Sala de Crise da Região Sul para avaliação da seca**. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-inicia-reunioes-da-sala-de-crise-da-regiao-sul-para-avaliacao-da-seca. Acesso em: 28 abr. 2021. ASHOURI, H. et al. PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 96, n. 1, p. 69–83, 2015.

BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 612–624, 2004.

BAUMGARTNER, G. et al. Introdução. In: **Peixes do baixo rio Iguaçu**. Maringá. p. 1–14.

BECK, M. B. Forecasting environmental change. **Journal of Forecasting**, v. 10, n. 1– 2, p. 3–19, 1991.

BERGSTRÖM, S. Utveckling och tillämpning av en digital avrinningsmodell. (Development and application of a digital runoff model, in Swedish). **HYDROLOGI**, n. 22, p. 28, 1972.

BERGSTRÖM, S. The HBV model - its structure and applications. **Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping**, v. 4, n. 4, p. 1–33, 1992.

BEVEN, K. Rainfall-Runoff Modelling. 2. ed. Lancaster: John Wiley & Sons Ltd, 2012.

BEVEN, K.; BINLEY, A. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. **Hydrological Processes**, v. 6, n. 3, p. 279–298, 1992.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 43–69, 1979.

BOLVIN, D. T. et al. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated MultisatellitE Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2. n. February, 2018.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. Verificação da Eficiência e Eficácia de um Algoritmo Evolucionário Multi-objetivo na Calibração Automática do Modelo Hidrológico IPH II. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 3, p. 37–50, 2009. BUARQUE, D. C. et al. 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.

BUARQUE, D. C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira**. Tese de Doutorado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

CALVETTI, L. et al. Quantitative precipitation estimation integrated by Poisson's equation using radar mosaic, satellite, and rain gauge network. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 22, n. 5, p. 1–11, 2017.

CASSALHO, F. et al. Hydrologic validation of MERGE precipitation products over anthropogenic watersheds. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 5, p. 1–21, 2020.

CGIAR. **SRTM Data**. Disponível em: https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/. Acesso em: 18 mar. 2019.

CHRS. **Data Portal - Center for Hydrometeorology and Remote Sensing**. Disponível em: https://chrsdata.eng.uci.edu/. Acesso em: 5 jun. 2020.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Tese de Doutorado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, v. 360, n. 1–4, p. 207–216, 2008.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

COLLISCHONN, W. et al. Medium-range reservoir inflow predictions based on quantitative precipitation forecasts. **Journal of Hydrology**, v. 344, n. 1–2, p. 112–122, 2007.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação Hidrológica de grandes Bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 95–118, 2001.

CONTI, G. N. Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

CORON, L. et al. The suite of lumped GR hydrological models in an R package. **Environmental Modelling and Software**, v. 94, p. 166–171, 2017.

DE ROO, A. P. J.; WESSELING, C. G.; VAN DEURSEN, W. P. A. Physically based river basin modelling within a GIS: The LISFLOOD model. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 11–12, p. 1981–1992, 2000.

DERIN, Y.; YILMAZ, K. K. Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography. **Journal of Hydrometeorology**, v. 15, n. 4, p. 1498–1516, 2014.

DHIB, S. et al. Evaluating the MSG satellite Multi-Sensor Precipitation Estimate for extreme rainfall monitoring over northern Tunisia. **Weather and Climate Extremes**, v. 16, n. September 2015, p. 14–22, 2017.

DOS SANTOS, F. M. Modelagem concentrada e semi-distribuída para simulação de vazão, produção de sedimentos e de contaminantes em bacias hidrográficas do interior de São Paulo. Tese de Doutorado — Universidade de São Paulo, 2018.

DOUGLAS-MANKIN, K. R.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. Soil and water assessment tool (SWAT) model: Current developments and applications. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 5, p. 1423–1431, 2010.

DUAN, Q. et al. **Calibration of Watershed Models**. Washington, D.C.: American Geophysical Union, 2003. v. 6

DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. Effective and Efficient Global Optimization. **Water Resources Research**, v. 28, n. 4, p. 1015–1031, 1992.

EDIJATNO et al. GR3J: A daily watershed model with three free parameters. **Hydrological Sciences Journal**, v. 44, n. 2, p. 263–277, 1999.

EPIPHANIO, J. C. N. Satélites de Sensoriamento Remoto. In: RUDORFF, B. F. T. et al. (Eds.). **Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 1–37.

ERCAN, M. B.; GOODALL, J. L. Estimating watershed-scale precipitation by combining gauge- and radar-derived observations. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 8, p. 983–994, 2013.

ESRI. **How Fill works**. Disponível em: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm>. Acesso em: 13 jul. 2020.

EUMETSAT. Multi-Sensor Precipitation Estimate : Product Guide, 2015.

EUMETSAT. MSG Level 1. 5 Image Data Format Description, 2017.

EWEN, B. J.; PARKIN, G.; O'CONNELL, P. E. Shetran : Distributed River B Asin F Low Modeling System. **Journal of hydrologic engineering**, v. 5, n. 7, p. 250–258, 2000.

FAN, F. et al. 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.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 243–254, 2014.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M. An Hydrological Response Units Maps for all South America. **XXI Brazilian Simposium of Water Reservuces**, p. 8, 2015.

FERREIRA, A. M. et al. Diagnóstico Da Cobertura Hidrometeorológica Do Monitoramento De Eventos Hidrológicos Extremos No Brasil. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 8, 2017.

FLEISCHMANN, A. et al. Modelling hydrologic and hydrodynamic processes in basins with large semi-arid wetlands. **Journal of Hydrology**, v. 561, p. 943–959, 2018.

FUNK, C. et al. The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 1–21, 2015.

GAO, F. et al. Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. **Atmospheric Research**, v. 212, n. October 2017, p. 150–157, 2018.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 103–120, 1998.

GLOBO. Paraná decreta situação de emergência hídrica, após mais de 10 meses de estiagem. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2020/05/07/parana-decreta-situacao-deemergencia-hidrica-apos-mais-de-10-meses-de-estiagem.ghtml>. Acesso em: 28 abr. 2021.

GOMES, G. T. C. Erros na Estimativa de Eventos Extremos de Vazão usando Precipitação Estimada por Radar. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal de Alagoas, 2018.

GUETTER, A. K. Sistema de previsão hidrológica para suporte à operação dos reservatórios da bacia do rio Iguaçu. XV Semiário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Anais...1999

GUO, B. et al. Long-term spatio-temporal precipitation variations in China with precipitation surface interpolated by ANUSPLIN. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–17, 2020.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information. **Water Resources Research**, v. 34, n. 4, p. 751–763, 1998.

HARRISON, T. et al. Implications of ultra-low-cost access to space. n. 3, p. 68, 2017.

HAVERKORT, H.; JANSSEN, J. Simple I/O-efficient flow accumulation on grid terrains. **ArXiv**, v. abs/1211.1, p. 13, 2012.

HEINEMANN, T.; LATTANZIO, A.; ROVEDA, F. The EUMETSAT multi-sensor precipitation estimate (MPE). **Second International Precipitation Working group** (IPWG) Meeting, p. 1–8, 2002.

HGE. **Mapa de URHs da América do Sul**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/sensoriamento-remoto/mapa-de-urhs-da-america-do-sul/. Acesso em: 18 mar. 2019.

HILLSTON, J. **Model validation and verification**. Disponível em: http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/ms/notes/note14.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2020.

HINGRAY, B.; PICOUET, C.; MUSY, A. **Hydrology: A Science for Engineers**. 1. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015.

HONG, Y. et al. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. **Journal of Applied Meteorology**, v. 43, n. 12, p. 1834–1852, 2004.

HONG, Y. et al. Remote Sensing Precipitation: Sensors, Retrievals, Validations, and Applications. p. 107–128, 2019.

HSU, K. L. et al. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 9, p. 1176–1190, 1997.

HUFFMAN, G. J. et al. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 1, p. 5–20, 1997.

HUFFMAN, G. J. et al. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 2, n. 1, p. 36–50, 2001.

HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasiglobal, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007. INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 10 mar. 2019.

JAISWAL, R. K.; ALI, S.; BHARTI, B. Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall–runoff models. **Applied Water Science**, v. 10, n. 1, p. 1–14, 2020.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

JIANG, D.; WANG, K. The role of satellite-based remote sensing in improving simulated streamflow: A review. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 8, p. 10–14, 2019.

JIMÉNEZ, K. Q. Modelagem hidrológica com uso da estimativa de chuva por sensoriamento remoto. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

JIMÉNEZ, K. Q. Previsão De Vazão Usando Estimativas De Precipitação Por Satélite E Assimilação De Dados. Tese de Doutorado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

JOYCE, R. J. et al. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. **Journal of Hydrometeorology**, v. 5, n. 3, p. 487–503, 2004.

KATIRAIE-BOROUJERDY, P. S. et al. Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. **Atmospheric Research**, v. 193, n. April, p. 36–49, 2017.

KIDDER, S. Q.; HAAR, T. H. V. **Satellite Meteorology: an introduction**. San Diego, Califórnia: Academic Press, 1995.

KITE, G. W. Simulating columbia river flows with data from regional-scale climate models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 6, p. 1275–1285, 1997.

KLEMEŠ, V. Operational testing of hydrological simulation models. **Hydrological Sciences Journal**, v. 31, n. 1, p. 13–24, 1986.
KOKKONEN, T. S.; JAKEMAN, A. J. A comparison of metric and conceptual approaches in rainfall-runoff modeling and its implications. **Water Resources Research**, v. 37, n. 9, p. 2345–2352, 2001.

KRUEGER, A. Ultraviolet Remote Sensing. **Encyclopedia of Remote Sensing**, n. Code 614, p. 853–860, 2014.

LI et al. An Improved Simplified Urban Storm Inundation Model Based on Urban Terrain and Catchment Modification. **Water**, v. 11, n. 11, p. 2335, 7 nov. 2019.

LIANG, X. et al. 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. 14415, 1994.

LIU, J. Progresses and Challenges on QPE/QPF Utilization in Hydrology. **Tropical Cyclone Research and Review**, v. 1, n. 2, p. 194–197, 2012.

LOOPER, J. P.; VIEUX, B. E. Distributed hydrologic forecast reliability using next-generation radar. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 18, n. 2, p. 260–268, 2013.

MADSEN, H. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. **Journal of Hydrology**, v. 235, n. 3–4, p. 276–288, 2000.

MARKS, D.; DOZIER, J.; FREW, J. Automated Basin Delineation From Digital Elevation Data. **Geo-processing**, v. 2, n. 3, p. 299–311, 1984.

MEDEIROS, M. . et al. Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2018 utilizando o IPH-Hydro Tools. p. 85, 2019.

MELATI, M. D.; FAN, F. M.; ATHAYDE, G. B. Groundwater recharge study based on hydrological data and hydrological modelling in a South American volcanic aquifer. **Comptes Rendus - Geoscience**, v. 351, n. 6, p. 441–450, 2019.

MELLER, A. Previsão de cheias por conjunto em curto prazo. Tese de Doutorado
— Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

MENDES, C. A. B. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na região estuarina da laguna dos Patos. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.

MICHEL, C. Que peut-on faire en hydrologie avec modèle conceptuel à un seul paramètre ? La Houille Blanche, n. 1, p. 39–44, 1983.

MINE, M. R. M.; TUCCI, C. E. M. Previsão em Tempo Real de Vazões Afluentes a Reservatórios de Usinas Hidrelétricas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4, n. 2, p. 73–95, 1999.

MISHRA, J. K.; SHARMA, O. P. Cloud top temperature based precipitation intensity estimation using INSAT-1D data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 6, p. 969–985, 2001.

MOAZAMI, S. et al. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 22, p. 8156–8171, 2013.

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Paraná, 2005.

MORIASI, D. N. et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007.

MORIASI, D. N. et al. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. **Transactions of the ASABE**, v. 58, n. 6, p. 1763–1785, 2015.

MUHAMMAD, E. et al. Satellite precipitation product: Applicability and accuracy evaluation in diverse region. **Science China Technological Sciences**, v. 63, n. 5, p. 819–828, 2020.

MUSIE, M.; SEN, S.; SRIVASTAVA, P. Comparison and evaluation of gridded precipitation datasets for streamflow simulation in data scarce watersheds of Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 579, n. August, p. 124168, 2019.

NASA. **Global Precipitation Climatology Project (GPCP)**. Disponível em: https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/atmosphere-based-products/gpcp>. Acesso em: 6 jun. 2020.

NASA. **GPM Core Observatory**. Disponível em: https://gpm.nasa.gov/GPM/flight-project/core-observatory. Acesso em: 4 jun. 2020a.

NASA. **TRMM era IMERG Completed & End of FTP at PPS**. Disponível em: https://gpm.nasa.gov/data-news/trmm-era-imerg-completed-end-ftp-pps. Acesso em: 4 jun. 2020b.

NASEM. A Strategy for Active Remote Sensing Amid Increased Demand for Radio Spectrum. Washington, D.C.: National Academies Press, 2015.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282–290, abr. 1970.

NELDER, J. A.; MEAD, R. A Simplex Method for Function Minimization. **The Computer Journal**, v. 7, n. 4, p. 308–313, 1965.

NGUYEN, P. et al. The PERSIANN family of global satellite precipitation data: A review and evaluation of products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 11, p. 5801–5816, 2018.

OSCAR. **SEVIRI**. Disponível em: https://www.wmo-sat.info/oscar/instruments/view/503. Acesso em: 5 jun. 2020.

P. W. GASSMAN et al. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. Transactions of the ASABE, v. 50, n.
4, p. 1211–1250, 2007.

PAIVA, R. C. D. DE. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias.
Estudo de caso: bacia do rio Solimões. Dissertação de Mestrado — Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

PAIVA, R. C. D. Estimativa de campos de precipitação: análise geoestatística e integração de dados de postos pluviométricos e satélite TRMM. **II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2008.

PAN, M.; LI, H.; WOOD, E. Assessing the skill of satellite-based precipitation estimates in hydrologic applications. **Water Resources Research**, v. 46, n. 9, p. 1–10, 2010.

PAZ, A. R. et al. Data assimilation in a large-scale distributed hydrological model for medium-range flow forecasts. **IAHS-AISH Publication**, n. 313, p. 471–478, 2007.

PERRIN, C. Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Tese de Doutorado — Institute National Polytechnique de Grenoble, 2000.

PERRIN, C.; MICHEL, C.; ANDRÉASSIAN, V. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. **Journal of Hydrology**, v. 279, n. 1–4, p. 275–289, 2003.

PETTY, G. W. The status of satellite-based rainfall estimation over land. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 125–137, 1995.

PONTES, P. R. M. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do Rio da Prata. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

PRAKASH, O.; CURTIS, D. C. Comparisons of Satellite Derived Precipitation Estimation. World Environmental and Water Resources Congress 2012. Anais...Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 17 maio 2012Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412312.380>

REFSGAARD, J. C.; STORM, B. MIKE SHE. In: SINGH, V. P. (Ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publications, 1995. p. 806–846.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf> . Acesso em: 16 jun. 2020.

ROSBJERG, D.; MADSEN, H. Concepts of Hydrologic Modeling. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**, p. 1–9, 2005.

ROZANTE, J. R. et al. Combining TRMM and surface observations of precipitation: Technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885–894, 2010.

ROZANTE, J. R.; CAVALCANTI, I. F. DE A. Regional Eta model experiments: SALLJEX and MCS development. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 113, n. 17, p. 1–20, 2008.

SEMA, - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Bacias Hidrográficas do Paraná. **Série Histórica**, p. 140, 2010.

SILVA, E. R. M. et al. Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1094–1105, 2020.

SILVEIRA, R. B. DA et al. Determinação de procedimento para avaliar a incerteza na previsão de precipitação e vazão afluente por sistemas hidro meteorológicos para auxílio na operação dos reservatórios e planejamento hidroenergético. In: **A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Elétrica**. Atena Editora, 2020. p. 262–275.

SINGH, V. P. Handbook of Applied Hydrology. 2. ed. McGraw-Hill Education, 2017.

SINGH, V. P. Hydrologic modeling: progress and future directions. **Geoscience** Letters, v. 5, n. 1, 2018.

SINGH, V. P.; FIORENTINO, M. Hydrologic modeling with GIS. p. 1–13, 1996.

SIQUEIRA, V. A. **Previsão de cheias por conjunto em curto a médio prazo: bacia do Taquari-Antas / RS**. Dissertação de Mestrado — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

SIQUEIRA, V. A. et al. IPH-Hydro Tools: Uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. **Revista Brasileira de Recursos Hidricos**, v. 21, n. 1, p. 274–287, 2016.

SIVAKUMAR, B. Chaos in Hydrology - Bridging Determinism and Stochasticity. Dordrecht: Springer Nature, 2017.

SOARES, A.; PAZ, A.; PICCILLI, D. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba / Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 288–299, 2016.

SULIMAN, A. H. A. et al. Evaluation of remotely sensed precipitation sources for drought assessment in Semi-Arid Iraq. **Atmospheric Research**, v. 242, n. January, p. 105007, 2020.

SULTANA, R.; NASROLLAHI, N. Evaluation of remote sensing precipitation estimates over Saudi Arabia. **Journal of Arid Environments**, v. 151, n. October, p. 90–103, 2018.

TANG, G.; LONG, D.; HONG, Y. Systematic Anomalies over Inland Water Bodies of High Mountain Asia in TRMM Precipitation Estimates: No Longer a Problem for the GPM Era? **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 13, n. 12, p. 1762–1766, 2016.

TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres. **Atlas Solarimétrico do Brasil**, v. 1, p. 111, 2000.

TOLEDO, C.; MUÑOZ, E.; ZAMBRANO-BIGIARINI, M. Comparison of Stationary and Dynamic Conceptual Models in a Mountainous and Data-Sparse Catchment in the South-Central Chilean Andes. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015.

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. Ajuste Multiobjetivo dos Parâmetros de um Modelo Hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 3, p. 27–39, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

ULABY, F.; LONG, D. **Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing**. Michigan: The University of Michigan Press, 2014. VAN DER KNIJFF, J. M.; YOUNIS, J.; DE ROO, A. P. J. LISFLOOD: A GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 24, n. 2, p. 189–212, 2010.

WERNER, M. G. F.; SCHELLEKENS, J.; KWADIJK, J. C. J. Flood Early Warning Systems for Hydrological (Sub) Catchments. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**, 2005.

WIGMOSTA, M.; PRASAD, R. Upscaling and Downscaling - Dynamic Models. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**, 2005.

WONGCHUIG, S. C. et al. Hydrological reanalysis across the 20th century: A case study of the Amazon Basin. **Journal of Hydrology**, v. 570, n. November 2018, p. 755–773, 2019.

WORQLUL, A. W. et al. Performance of bias corrected MPEG rainfall estimate for rainfall-runoff simulation in the upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 556, p. 1182–1191, 2018.

WRIGHT, D.; GREGO, L.; GRONLUND, L. **The physics of space security: a reference manual**. Cambridge, MA: American Academy of Arts and Sciences, 2005. v. 14

YAPO, P. O.; GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S. Multi-objective global optimization for hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 204, n. 1–4, p. 83–97, 1998.

YUCEL, I. et al. Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 523, p. 49–66, 2015.

ZUBIETA, R. et al. Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall-runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 599–612, 2015.

ZUBIETA, R. et al. Hydrological modeling of the Peruvian-Ecuadorian Amazon basin using GPM-IMERG satellite-based precipitation dataset. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, p. 1–21, 2017.

ANEXO 1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS

Estações Pluviométricas

#	Códiao	Latitude	Lonaitude	Nome
1	2452051	-24,9472	-52,5978	PORTO CARRIEI
2	2549017	-25 5192	-49 1467	FAZENDINHA
3	2549061	-25.8550	-49.5258	QUITANDINHA
4	2549093	-25 5992	-49 5100	GUAJUVIRA
5	2549105	-25 9487	-49 7955	SÃO BENTO
6	2549106	-25 5488	-49 8879	PORTO AMAZONAS
7	2550000	-25.2372	-50,9608	PRUDENTÓPOLIS CAPT. SANEPAR
8	2550069	-25.8788	-50.3863	SÃO MATEUS DO SUI
9	2550070	-25,9096	-50.5221	PONTILHÃO
10	2551008	-25.5325	-51.4414	COLÔNIA VITÓRIA
11	2551054	-25.8068	-51.2884	MADEIREIRA GAVAZZONI
12	2551059	-25.6446	-51,9579	SANTA CLARA
13	2551060	-25.7021	-52.0021	FUNDÃO
14	2551073	-25.4856	-51.7279	FAZENDA AURORA
15	2551074	-25.6121	-51.6529	GUARAPUAVINHA
16	2552008	-25.1000	-52.2667	MARQUINHO
17	2552030	-25.8600	-52.5269	UHE SALTO SANTIAGO CHOPINZINHO
18	2552056	-25.7738	-52.9346	ÁGUAS DO VERÊ
19	2552057	-25.7913	-52.1154	SEGREDO
20	2552062	-25.3813	-52.0246	VAU DOS RIBEIROS
21	2552073	-25.4871	-52.2163	PCH CAVERNOSO II
22	2553061	-25.5438	-53.4913	SALTO CAXIAS
23	2553062	-25.3938	-53.1038	PORTO SANTO ANTÔNIO
24	2553066	-25.5828	-53.2672	BALSA DO JARACATIÁ
25	2553070	-25.5804	-53.9163	PORTO CAPANEMA
26	2648002	-26.7242	-48.9317	LUIZ ALVES
27	2649004	-26.8297	-49.2719	TIMBÓ NOVO
28	2649013	-26.4239	-49.2925	CORUPÁ
29	2649017	-26.7172	-49.4831	DOUTOR PEDRINHO
30	2649058	-26.6975	-49.8281	BARRA DO PRATA
31	2649060	-26.2158	-49.0806	PRIMEIRO SALTO DO CUBATÃO
32	2649061	-26.8950	-49.6722	BARRAGEM NORTE
33	2649073	-26.1555	-49.3837	FRAGOSOS
34	2649074	-26.1096	-49.8021	RIO NEGRO
35	2650026	-26.0854	-50.3288	DIVISA
36	2650027	-26.0221	-50.5913	FLUVIOPOLIS
37	2650028	-26.5871	-50.7451	FOZ DO CACHOEIRA
38	2650029	-26.2987	-50.9029	FOZ DO TIMBO
39	2650030	-26.3730	-50.8730	SANTA CRUZ DO TIMBO
40	2651001	-26.8733	-51.7964	CAMPINA DA ALEGRIA
41	2651054	-26.0671	-51.9129	SOLAIS NOVOS
42	2651055	-26.0096	-51.6713	FOZ DO AREIA
43	2651056	-26.0303	-51.1419	
44	2651057	-26.3879	-51.2721	
45	2651058	-26.1579	-51.2296	
40	2651059	-26.2279	-51.0788	
47	2652023	-26.3833	-52.0000	
48 40	2002031	-20.4003	-52.8950	
49 E0	2002040	-20.0313	-02.0290	
50	2003002	-20.2092 26 6020	-00.0210	
51	2000004	-20.0020	-53.2001	
52	2000000	-20.4000	-00.4000	

Estações Fluviométricas

#	Código	Latitude	Longitude	Nome	Tipo de Série
1	65100001	-26.1096	-49.8021	Rio Negro	Medição
2	65035001	-25.5488	-49.8879	Porto Amazonas	Medição
3	65155001	-25.9487	-49.7955	São Bento	Medição
4	65208001	-25.9096	-50.5221	Pontilhão	Medição
5	65060001	-25.8788	-50.3863	São Mateus do Sul	Medição
6	65175001	-26.0854	-50.3288	Divisa	Medição
7	65220001	-26.0221	-50.5913	Fluviópolis	Medição
8	65295001	-26.3730	-50.873	Santa Cruz do Timbó	Medição
9	65310001	-26.2279	-51.0788	União da Vitória	Medição
10	65764001	-25.8068	-51.2884	Madeireira Gavazzoni	Medição
11	65370001	-26.3879	-51.2721	Jangada	Medição
12	65774400	-26.0096	-51.6713	UHE Foz do Areia	Vazão Natural Afluente
13	65775901	-26.0671	-51.9129	Solais Novo	Medição
14	65970001	-25.3938	-53.1038	Porto Santo Antônio	Medição
15	65960001	-25.7738	-52.9346	Águas do Verê	Medição
16	65803001	-25.7913	-52.1154	UHE Segredo	Vazão Natural Afluente
17	65963500	-25.5729	-53.1121	Foz do Chopim	Medição
18	65824991	-25.6446	-51.9579	UHE Santa Clara	Vazão Natural Afluente
19	65973501	-25.5438	-53.4913	UHE Salto Caxias	Vazão Natural Afluente
20	65987001	-25.5804	-53.9163	Porto Capanema	Medição
21	65992500	-25.6804	-54.4221	Hotel Cataratas	Medição
22	65894991	-25.5354	-53.0088	UHE Salto Osório	Vazão Natural Afluente
23	65883051	-25.6246	-52.6054	UHE Salto Santiago	Vazão Natural Afluente
24	65090001	-26.1555	-49.3837	Fragosos	Medição
25	65415001	-26.0303	-51.1419	Palmital do Meio	Medição
26	65927001	-26.0313	-52.6296	Porto Palmeirinha	Medição
27	65855080	-25.4871	-52.2163	PCH Cavernoso II (Barramento)	Medição
28	65260001	-26.5871	-50.7451	Foz do Cachoeira	Medição
29	65855110	-25.4856	-51.7279	Fazenda Aurora	Medição

ANEXO 2 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

τίτυιο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Informing hydrological models of poorly gauged river catchments – A parameter regionalization and calibration approach	Kittel, C. M. M., Arildsen, A. L., Dybkjær, S., Hansen, E. R., Linde, I., Slott, E., Bauer- Gottwein, P.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124999	Journal of Hydrology	Budyko's	TMPA, FEWS-RFE
Interpolated or satellite-based precipitation? Implications for hydrological modeling in a meso-scale mountainous watershed on the Qinghai-Tibet Plateau	Ling Zhanga, Dong Renb, Zhuotong Nanc, Weizhen Wanga, Yi Zhaoc, Yanbo Zhaoa, Qimin Maa, Xiaobo Wu	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124629	Journal of Hydrology	DHSVM	TMPA, IMERGE
Evaluation of satellite precipitation products using HEC-HMS model	Belayneh, A., Sintayehu, G., Gedam, K., & Muluken, T.	2020	10.1007/s40808-020-00792-z	Modelling Earth Systems and Environment	HEC-HMS	CHIRPS, TMPA
Improvement and evaluation of the Iowa Flood Center Hillslope Link Model (HLM) by calibration-free approach	Quintero, F., Krajewski, W. F., Seo, BC., & Mantilla, R.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124686	Journal of Hydrology	HLM	NEXRAD
Streamflow prediction in "geopolitically ungauged" basins using satellite observations and regionalization at subcontinental scale	Du, T. L. T., Lee, H., Bui, D. D., Arheimer, B., Li, HY., Darby, S. E., & Kim, D.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.125016	Journal of Hydrology	HYPE	HydroGFD, MSWEP, TMPA, NCEP
Rain gauge networks' limitations and the implications to hydrological modelling highlighted with a X-band radar	Paz, I., Tchiguirinskaia, I., & Schertzer, D.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124615	Journal of Hydrology	InfoWorks CS	Radar
Hydrologic Validation of MERGE Precipitation Products over Anthropogenic Watersheds	Cassalho, F., Daleles Rennó, C., Bosco Coura dos Reis, J., & Cláudio da Silva, B.	2020	10.3390/W12051268	Water	MGB-IPH	MERGE (baseado no TMPA)
Adequacy of Satellite-derived Precipitation Estimate for Hydrological modeling in Vietnam Basins	Le, MH., Lakshmi, V., Bolten, J., & Bui, D. D.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124820	Journal of Hydrology	SWAT	TMPA, GPM, CHIRPS, PERSIANN
Development and accuracy assessment of a 12-digit hydrologic unit code based Real-Time climate database for hydrologic models in the US	Jungang Gao, Katrin Bieger, Michael J. White, Jeffrey Arnold	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.124817	Journal of Hydrology	SWAT	PRISM, NEXRAD
Hydrological evaluation of merged satellite precipitation datasets for streamflow simulation using SWAT: A case study of Potohar Plateau, Pakistan	Ur Rahman, K., Shang, S., Shahid, M., & Wen, Y.	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.125040	Journal of Hydrology	SWAT	TMPA, CMORPH, PERSIANN-CDR
Optimizing climate model selection for hydrological modeling: a case study in the Maumee River Basin using the SWAT	Shanshui Yuan, Steven M. Quiring, Margaret M. Kalcic, Anna M. Apostel, Grey R. Evenson, Haley A. Kujawa	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.125064	Journal of Hydrology	SWAT	CMIP5
Evaluating Rainfall Datasets to Reconstruct Floods in Data-Sparse Himalayan Region	I. Chawla, P.P. Mujumdar	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.125090	Journal of Hydrology	VIC	TMPA, CFSR, FNL, JRA-55, MERRA2

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Identification of uncertainty sources in quasi-global discharge and inundation simulations using satellite- based precipitation products	Zhongwang Wei, Xiaogang He, Yonggen Zhang, Ming Pan, Justin Sheffield, Liqing Peng, Dai Yamazaki, Abdul Moiz, Yaping Liu, Koji Ikeuchi	2020	10.1016/j.jhydrol.2020.125180	Journal of Hydrology	VIC	CHIRPS, MSWEP, GSMaP, PERSIANN-CDR, TMPA
Daily discharges modelling in a basin in southern Ecuador with precipitation and temperature estimated by satellite	Luis Balcázar, Khalidou M. Bâ, Carlos Díaz-Delgado, Emmanuelle Quentin, Saula Minga-León	2019	ISSN: 14053195	Agrociencia	CEQUEAU	CMORPH, PERSIANN-CDR, TMPA, ERA-Interim
Estimating daily streamflow in the Congo Basin using satellite-derived data and a semi-distributed hydrological model	Munzimi, Y. A., Hansen, M. C., & Asante, K. O.	2019	10.1080/02626667.2019.1647 342	Hydrological Sciences Journal	GeoSFM	ТМРА
Evaluating precipitation datasets for large-scale distributed hydrological modelling. Journal of Hydrology	Mazzoleni, M., Brandimarte, L., & Amaranto, A.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.124076	Journal of Hydrology	HBV	CHIRPS, CMORPH, PERSIANN, PERSIAN-CCS, PERSIAN-CDR, TMPA, GSMaP, dentre outros
Evaluation and Bias Correction of CHIRP Rainfall Estimate for Rainfall-Runoff Simulation over Lake Ziway Watershed, Ethiopia	Goshime, D. W., Absi, R., & Ledésert, B.	2019	10.3390/hydrology6030068	Hydrology	HBV	CHIRP
How do GPM IMERG precipitation estimates perform as hydrological model forcing? Evaluation for 300 catchments across Mainland China	Jiang, L., & Bauer-Gottwein, P.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.03.042	Journal of Hydrology	HBV	TMPA e IMERGE
Suitability of Satellite-Based Precipitation Products for Water Balance Simulations Using Multiple Observations in a Humid Catchment	Zhang, D., Liu, X., Bai, P., & Li, XH.	2019	10.3390/rs11020151	Remote Sensing	HIMS	CHIRPS, CMORPH, MSWEP, PERSIANN, TMPA
Possible hydrologic forecasting improvements resulting from advancements in precipitation estimation and forecasting for a real-time flood forecast system in the Ohio River Valley, USA	Adams, III, T. E., & Dymond, R. L.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.124138	Journal of Hydrology	HL-RDHM (Sacramento)	NEXRAD, PRISM
Hydrological Reanalysis Across the 20th Century: A Case Study of the Amazon	Correa, S. W., de Paiva, R. C. D., Siqueira, V., & Collischonn, W.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.01.025	Journal of Hydrology	MGB-IPH	HRXX (ERA-20)
Comparison and evaluation of gridded precipitation datasets for streamflow simulation in data scarce watersheds of Ethiopia	Musie, M., Sen, S., & Srivastava, P.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.124168	Journal of Hydrology	SWAT	CHIRPS, PERSIANN-CDR, TMPA
Evaluation of the GSMaP_Gauge products using rain gauge observations and SWAT model in the Upper Hanjiang River Basin	Deng, P., Zhang, M., Bing, J., Jia, J., & Zhang, D.	2019	10.1016/j.atmosres.2018.12.0 32	Atmospheric Research	SWAT	GSMaP

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Hydrological Simulation Using TRMM and CHIRPS Precipitation Estimates in the Lower Lancang-Mekong River Basin	Luo, X., Wu, W., He, D., Li, Y., & Ji, X.	2019	10.1007/s11769-019-1014-6	Chinese Geographical Science	SWAT	TMPA e CHIRPS
Role of satellite and reanalysis precipitation products in streamflow and sediment modeling over a typical alpine and gorge region in Southwest China.	Ma, D., Xu, YP., Gu, H., Zhu, Q., Sun, Z., & Xuan, W.	2019	10.1016/j.scitotenv.2019.06.18 3	Science of The Total Environment	SWAT	TMPA, PERSIANN- CDR e NCEP- CFSR
Assessing the Uncertainties of Four Precipitation Products for Swat Modeling in Mekong River Basin	Tang, X., Zhang, J., Gao, C., Ruben, G., & Wang, G.	2019	10.3390/rs11030304	Remote Sensing	SWAT	AgMERRA, MSWEP, PERSIANN-CDR e TMPA
Towards a large-scale locally relevant flood inundation modeling framework using SWAT and LISFLOOD-FP.	Rajib, A., Liu, Z., Merwade, V., Tavakoly, A. A., & Follum, M. L.	2019	10.1016/j.jhydrol.2019.124406	Journal of Hydrology	SWAT e LISFLOOD	NLDAS e NCEP
Merging ground and satellite-based precipitation data sets for improved hydrological simulations in the Xijiang River basin of China	Chen, T., Ren, L., Yuan, F., Tang, T., Yang, X., Jiang, S., Zhang, L.	2019	10.1007/s00477-019-01731-w	Stochastic Environmental Research and Risk Assessment	VCR	PERSIANN-CDR
Evaluating the hydrological utility of latest IMERG products over the Upper Huaihe River Basin, China	Su, J., Lü, H., Zhu, Y., Cui, Y., & Wang, X.	2019	10.1016/j.atmosres.2019.03.0 25	Atmospheric Research	VIC	IMERGE
Reliability of reanalysis and remotely sensed precipitation products for hydrological simulation over the Sefidrood River Basin, Iran	Afshin Shayeghi, Asghar Azizian & Luca Brocca	2019	10.1080/02626667.2019.1691 217	Hydrological Sciences Journal	VIC	APHRODITE, ERA- Interim, TMPA, PERSIANN
Hydrologic Evaluation of TRMM and GPM IMERG Satellite-Based Precipitation in a Humid Basin of China	Zhang, Z., Tian, J., Huang, Y., Chen, X., Chen, S., & Duan, Z.	2019	10.3390/rs11040431	Remote Sensing	Xinanjiang	TMPA e IMERGE
Comprehensive evaluation of Ensemble Multi-Satellite Precipitation Dataset using the Dynamic Bayesian Model Averaging scheme over the Tibetan plateau	Ma, Y., Yang, Y., Han, Z., Tang, G., Maguire, L., Chu, Z., & Hong, Y.	2018	10.1016/j.jhydrol.2017.11.050	Journal of Hydrology	CREST	IMERGE GSMaP
Performance of bias corrected MPEG rainfall estimate for rainfall-runoff simulation in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia.	Worqlul, A. W., Ayana, E. K., Maathuis, B. H. P., MacAlister, C., Philpot, W. D., Osorio Leyton, J. M., & Steenhuis, T. S.	2018	10.1016/j.jhydrol.2017.01.058	Journal of Hydrology	HBV	MPEG
Validating Rainfall-Runoff Modelling Using Satellite- Based and Reanalysis Precipitation Products in the Sre Pok Catchment, the Mekong River Basin	Nguyen, T., Masih, I., Mohamed, Y., & van der Zaag, P.	2018	10.3390/geosciences8050164	Geosciences	HBV	TMPA, CMORPH, ERA-Interim
Value of different precipitation data for flood prediction in an alpine catchment: A Bayesian approach	Sikorska, A. E., & Seibert, J.	2018	10.1016/j.jhydrol.2016.06.031	Journal of Hydrology	HBV	Radar

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Evaluation of five gridded rainfall datasets in simulating streamflow in the upper Dong Nai river basin, Vietnam	Nhi, P. T. T., Khoi, D. N., & Hoan, N. X.	2018	10.1080/17538947.2018.1426 647	International Journal of Digital Earth	HEC-HMS	APHRODITE, CFSR, CRU-TS, GPCC, TMPA
Evaluation of Five Satellite-Based Precipitation Products in Two Gauge-Scarce Basins on the Tibetan Plateau	Bai, P., & Liu, X.	2018	10.3390/RS10081316	Remote Sensing	HIMS	CHIRPS, CMORPH, PERSIANN-CDR, TMPA, MSWEP
Improving the use of ground-based radar rainfall data for monitoring and predicting floods in the iguaçu river basin.	Falck, A. S., Maggioni, V., Tomasella, J., Diniz, F. L. R., Mei, Y., Beneti, C. A., … Rodriguez, D. A.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.10.046	Journal of Hydrology	MHD-INPE	Radar
How reliable are satellite precipitation estimates for driving hydrological models: a verification study over the mediterranean area	Camici, S., Ciabatta, L., Massari, C., & Brocca, L.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.06.067	Journal of Hydrology	MISDc	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Satellite observations and modeling to understand the Lower Mekong River Basin streamflow variability.	Mohammed, I. N., Bolten, J. D., Srinivasan, R., & Lakshmi, V.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.07.030	Journal of Hydrology	SWAT	TMPA e IMERGE
Adequacy of TRMM satellite rainfall data in driving the SWAT modeling of Tiaoxi catchment (Taihu lake basin, China).	Li, D., Christakos, G., Ding, X., & Wu, J.	2018	10.1016/j.jhydrol.2017.01.006	Journal of Hydrology	SWAT	ТМРА
Evaluation and hydrological application of satellite-based precipitation datasets in driving hydrological models over the Huifa river basin in Northeast China	Zhu, H., Li, Y., Huang, Y., Li, Y., Hou, C., & Shi, X.	2018	10.1016/j.atmosres.2018.02.0 22	Atmospheric Research	SWAT	TMPA e CMORPH
Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia	Duan, Z., Tuo, Y., Liu, J., Gao, H., Song, X., Zhang, Z., … Mekonnen, D. F.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.12.026	Journal of Hydrology	SWAT	CHIRPS, TMPA, CFSR
Using multiple satellite-gauge merged precipitation products ensemble for hydrologic uncertainty analysis over the Huaihe River basin	Sun, R., Yuan, H., & Yang, Y.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.09.024	Journal of Hydrology	VIC	TMPA, CMORPH, GSMaP
Towards Validation of the Canadian Precipitation Analysis (CaPA) for Hydrologic Modeling Applications in the Canadian Prairies	Boluwade, A., Zhao, KY., Stadnyk, T. A., & Rasmussen, P.	2018	10.1016/j.jhydrol.2017.05.059	Journal of Hydrology	WATFLOOD	CaPA
An ensemble-based dynamic Bayesian averaging approach for discharge simulations using multiple global precipitation products and hydrological models.	Qi, W., Liu, J., Yang, H., & Sweetapple, C.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.01.026	Journal of Hydrology	WEB-DHM e TOPMODEL	TMPA, GLDAS
Evaluation of hydrological utility of IMERG Final run V05 and TMPA 3B42V7 satellite precipitation products in the Yellow River source region, China	Yuan, F., Wang, B., Shi, C., Cui, W., Zhao, C., Liu, Y., … Yang, X.	2018	10.1016/j.jhydrol.2018.06.045	Journal of Hydrology	Xinanjiang	TMPA e IMERGE
Monitoring hydrological drought using long-term satellite- based precipitation data	Lai, C., Zhong, R., Wang, Z., Wu, X., Chen, X., Wang, P., & Lian, Y.	2018	10.1016/j.scitotenv.2018.08.24 5	Science of The Total Environment	Xinanjiang	CHIRPS e PERSIANN-CDR

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Statistical and hydrological evaluation of the latest Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) over a midlatitude humid basin in South China	Jiang, S., Ren, L., Xu, CY., Yong, B., Yuan, F., Liu, Y., Zeng, X.	2018	10.1016/j.atmosres.2018.08.0 21	Atmospheric Research	Xinanjiang	IMERGE e TMPA
Error adjustment of TMPA satellite precipitation estimates and assessment of their hydrological utility in the middle and upper Yangtze River Basin, China	Yiran Zhang, Ao Sun, Huaiwei Sun, Dongwei Gui, Jie Xue, Weihong Liao, Dong Yan, Na Zhao, Xiaofan Zeng	2018	10.1016/j.atmosres.2018.09.0 21	Atmospheric Research	Xinanjiang e TANK	ТМРА
Assessing the potential of satellite-based precipitation estimates for flood frequency analysis in ungauged or poorly gauged tributaries of China's Yangtze River basin	Gao, Z., Long, D., Tang, G., Zeng, C., Huang, J., & Hong, Y.	2017	10.1016/j.jhydrol.2017.05.025	Journal of Hydrology	CREST	ТМРА
Statistical assessment and hydrological utility of the latest multi-satellite precipitation analysis IMERG in Ganjiang River basin.	Li, N., Tang, G., Zhao, P., Hong, Y., Gou, Y., & Yang, K.	2017	10.1016/j.atmosres.2016.07.0 20	Atmospheric Research	CREST	IMERGE e Radar
A new method for estimation of spatially distributed rainfall through merging satellite observations, raingauge records, and terrain digital elevation model data	Shi, H., Chen, J., Li, T., & Wang, G.	2017	10.1016/j.jher.2017.10.006	Journal of Hydro- environment Research	DYRIM	TMPA e CMORPH
Evaluating the performance of remotely sensed and reanalysed precipitation data over West Africa using HBV light	Poméon, T., Jackisch, D., & Diekkrüger, B.	2017	10.1016/j.jhydrol.2017.01.055	Journal of Hydrology	HBV	CFSR, CHIRPS, CMORPH. PERSIANN-CDR, dentre outros
Evaluation of CFSR, TMPA 3B42 and ground-based rainfall data as input for hydrological models, in data- scarce regions: The upper Blue Nile Basin, Ethiopia	Worqlul, A. W., Yen, H., Collick, A. S., Tilahun, S. A., Langan, S., & Steenhuis, T. S.	2017	10.1016/j.catena.2017.01.019	Catena	HBV	TMPA e CFSR
Impacts of combining reanalyses and weather station data on the accuracy of discharge modelling	Essou, G. R. C., Brissette, F., & Lucas-Picher, P.	2017	10.1016/j.jhydrol.2016.12.021	Journal of Hydrology	HSMAI	ERA-Interim, CFSR e MERRA
Evaluation of TRMM-Precipitation with Rain-Gauge Observation Using Hydrological Model J2000.	Kumar, D., Pandey, A., Sharma, N., & Flügel, WA.	2017	10.1061/(ASCE)HE.1943- 5584.0001317	Journal of Hydrologic Engineering	J2000	ТМРА
Hydrological modeling of the Peruvian–Ecuadorian Amazon Basin using GPM-IMERG satellite-based precipitation dataset	Ricardo Zubieta, Augusto Getirana, Jhan Carlo Espinoza, Waldo Lavado- Casimiro, and Luis Aragon	2017	10.5194/hess-21-3543-2017	Hydrology and Earth System Sciences	MGB-IPH	IMERG e TMPA
Satellite-based rainfall estimation and discharge measurement of Middle Indus River, Pakistan.	Younis, S. M. Z., Majid, M., & Ammar, A.	2017	10.1007/s12517-017-3192-9	Arabian Journal of Geosciences	SWAT	TMPA
Applicability of open rainfall data to event-scale urban rainfall-runoff modelling	Niemi, T. J., Warsta, L., Taka, M., Hickman, B., Pulkkinen, S., Krebs, G., Kokkonen, T.	2017	10.1016/j.jhydrol.2017.01.056	Journal of Hydrology	SWMM	Radar

Τίτυιο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Evaluation and hydrologic validation of TMPA satellite precipitation product downstream of the Pearl River Basin, China.	Wang, Z., Zhong, R., & Lai, C.	2017	10.1002/hyp.11350	Hydrological Processes	VIC	ТМРА
Evaluation of the GPM IMERG satellite-based precipitation products and the hydrological utility.	Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., & Chen, J.	2017	10.1016/j.atmosres.2017.06.0 20	Atmospheric Research	VIC	TMPA e IMERGE
Evaluation of the TRMM Multisatellite Precipitation Analysis and Its Applicability in Supporting Reservoir Operation and Water Resources Management in Hanjiang basin, China	Yang, N., Zhang, K., Hong, Y., Zhao, Q., Huang, Q., Xu, Y., Chen, S.	2017	10.1016/j.jhydrol.2017.04.006	Journal of Hydrology	Xiong and Guo (1999) - monthly water balance model	TMPA
Statistical and Hydrological Comparisons between TRMM and GPM Level-3 Products over a Midlatitude Basin: Is Day-1 IMERG a Good Successor for TMPA 3B42V7?	Tang, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, X., Yong, B., Zhang, W., & Hong, Y.	2016	10.1175/JHM-D-15-0059.1	Journal of Hydrometeorolo gy	CREST	TMPA e IMERGE
Influence of hydro-meteorological data spatial aggregation on streamflow modelling	Girons Lopez, M., & Seibert, J.	2016	10.1016/j.jhydrol.2016.08.026	Journal of Hydrology	HBV	MeteoSwiss
Assessing the Efficacy of High-Resolution Satellite- Based PERSIANN-CDR Precipitation Product in Simulating Streamflow.	Ashouri, H., Nguyen, P., Thorstensen, A., Hsu, K., Sorooshian, S., & Braithwaite, D.	2016	10.1175/JHM-D-15-0192.1	Journal of Hydrometeorolo gy	HL-RDHM (Sacramento)	PERSIANN-CDR e TMPA
The impacts of climatological adjustment of quantitative precipitation estimates on the accuracy of flash flood detection.	Zhang, Y., Reed, S., Gourley, J. J., Cosgrove, B., Kitzmiller, D., Seo, DJ., & Cifelli, R.	2016	10.1016/j.jhydrol.2015.12.017	Journal of Hydrology	HL-RDHM (Sacramento)	NEXRAD
Error Analysis of Satellite Precipitation-Driven Modeling of Flood Events in Complex Alpine Terrain	Mei, Y., Nikolopoulos, E., Anagnostou, E., Zoccatelli, D., & Borga, M.	2016	10.3390/rs8040293	Remote Sensing	ICHYMOD	TMPA, PERSIANN, CMORPH
Evaluating Satellite Precipitation Error Propagation in Runoff Simulations of Mountainous Basins	Mei, Y., Nikolopoulos, E., Anagnostou, E., Zoccatelli, D., & Borga, M.	2016	10.1175/JHM-D-15-0081.1	Journal of Hydrometeorolo gy	ICHYMOD	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Evaluation of precipitation input for SWAT modeling in Alpine catchment: A case study in the Adige river basin (Italy).	Tuo, Y., Duan, Z., Disse, M., & Chiogna, G.	2016	10.1016/j.scitotenv.2016.08.03 4	Science of The Total Environment	SWAT	CHIRPS e TMPA
Evaluation of the latest satellite-gauge precipitation products and their hydrologic applications over the Huaihe River basin	Sun, R., Yuan, H., Liu, X., & Jiang, X.	2016	10.1016/j.jhydrol.2016.02.054	Journal of Hydrology	VIC	TMPA e CMORPH
Similarity and difference of global reanalysis datasets (WFD and APHRODITE) in driving lumped and distributed hydrological models in a humid region of China	Xu, H., Xu, CY., Chen, S., & Chen, H.	2016	10.1016/j.jhydrol.2016.09.011	Journal of Hydrology	Xinanjiang e SWAT	WFD e APHRODITE (gauges)

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Hydrologic evaluation of satellite and reanalysis precipitation datasets over a mid-latitude basin	Seyyedi, H., Anagnostou, E. N., Beighley, E., & McCollum, J.	2015	10.1016/j.atmosres.2015.03.0 19	Journal of Hydrology	HRR	TMPA e GLDAS
Potential of satellite rainfall products to predict Niger River flood events in Niamey	Casse, C., Gosset, M., Peugeot, C., Pedinotti, V., Boone, A., Tanimoun, B. A., & Decharme, B.	2015	10.1016/j.atmosres.2015.01.0 10	Atmospheric Research	ISBA-TRIP	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Impacts of satellite-based precipitation datasets on rainfall–runoff modeling of the Western Amazon basin of Peru and Ecuador.	Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., & Lavado, W.	2015	10.1016/j.jhydrol.2015.06.064	Journal of Hydrology	MGB-IPH	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Hydrological modelling using ensemble satellite rainfall estimates in a sparsely gauged river basin: The need for whole-ensemble calibration	Skinner, C. J., Bellerby, T. J., Greatrex, H., & Grimes, D. I. F.	2015	10.1016/j.jhydrol.2014.12.052	Journal of Hydrology	Pitman	TMPA, CMORPH, PERSIANN, dentre outros
Utilizing satellite precipitation estimates for streamflow forecasting via adjustment of mean field bias in precipitation data and assimilation of streamflow observations.	Lee, H., Zhang, Y., Seo, DJ., & Xie, P.	2015	10.1016/j.jhydrol.2015.08.057	Journal of Hydrology	Sacramento	CMORPH
Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins–Araguaia basin in Brazil	Falck, A. S., Maggioni, V., Tomasella, J., Vila, D. A., & Diniz, F. L. R.	2015	10.1016/j.jhydrol.2015.05.042	Journal of Hydrology	SREM2D	TMPA, CMORPH, GSMaP, dentre outros
Evaluation of global fine-resolution precipitation products and their uncertainty quantification in ensemble discharge simulations	W. Qi, C. Zhang, G. Fu, C. Sweetapple, and H. Zhou	2015	10.5194/hessd-12-9337-2015	Hydrology and Earth System Sciences	WEB-DHM e TOPMODEL	TMPA, GSMaP, PERSIANN, GLDAS
Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall.	Yucel, I., Onen, A., Yilmaz, K. K., & Gochis, D. J.	2015	10.1016/j.jhydrol.2015.01.042	Journal of Hydrology	WRF-Hydro	MPE
Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River	Meng, J., Li, L., Hao, Z., Wang, J., & Shao, Q.	2014	10.1016/j.jhydrol.2013.11.049	Journal of Hydrology	CREST	ТМРА
Effects of Resolution of Satellite-Based Rainfall Estimates on Hydrologic Modeling Skill at Different Scales	Vergara, H., Hong, Y., Gourley, J. J., Anagnostou, E. N., Maggioni, V., Stampoulis, D., & Kirstetter, PE.	2014	10.1175/JHM-D-12-0113.1	Journal of Hydrometeorolo gy	HL-RDHM (Sacramento)	ТМРА
Satellite-driven downscaling of global reanalysis precipitation products for hydrological applications.	Seyyedi, H., Anagnostou, E. N., Beighley, E., & McCollum, J.	2014	10.5194/hess-18-5077-2014	Hydrology and Earth System Sciences	HRR	TMPA, GLDAS
Application of satellite-derived rainfall for hydrological modelling in the data-scarce Black Volta trans-boundary basin	Adjei, K. A., Ren, L., Appiah- Adjei, E. K., & Odai, S. N.	2014	10.2166/nh.2014.111	Hydrology Research	SWAT	ТМРА

TÍTULO	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Hydrologic modeling using elevationally adjusted NARR and NARCCAP regional climate-model simulations: Tucannon River, Washington.	Praskievicz, S., & Bartlein, P.	2014	10.1016/j.jhydrol.2014.06.017	Journal of Hydrology	SWAT	NCEP e NARCCAP
Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau	Tong, K., Su, F., Yang, D., & Hao, Z.	2014	10.1016/j.jhydrol.2014.07.044	Journal of Hydrology	VIC	TMPA, CMORPH e PERSIANN
Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based Multi-satellite Precipitation Analysis over the Wangchu Basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins?	Xue, X., Hong, Y., Limaye, A. S., Gourley, J. J., Huffman, G. J., Khan, S. I., … Chen, S.	2013	10.1016/j.jhydrol.2013.06.042	Journal of Hydrology	CREST	ТМРА
Evaluation of several rainfall products used for hydrological applications over West Africa using two high-resolution gauge networks.	Gosset, M., Viarre, J., Quantin, G., & Alcoba, M.	2013	10.1002/qj.2130	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society	GR4J e SCS	PERSIANN, CMORPH, TMPA, GSMaP, CPC, RFE, EPSAT, GPCP-1DD
Hydrological evaluation of satellite-based rainfall estimates over the Volta and Baro-Akobo Basin	Thiemig, V., Rojas, R., Zambrano-Bigiarini, M., & De Roo, A.	2013	10.1016/j.jhydrol.2013.07.012	Journal of Hydrology	LISFLOOD	CMORPH, RFEM TMPA, PERSIANN, Era-Interim
Investigating the Applicability of Error Correction Ensembles of Satellite Rainfall Products in River Flow Simulations	Maggioni, V., Vergara, H. J., Anagnostou, E. N., Gourley, J. J., Hong, Y., & Stampoulis, D.	2013	10.1175/JHM-D-12-074.1	Journal of Hydrometeorolo gy	SREM2D	TMPA, CMORPH, PERSIANN-CCS
Using High-Resolution Satellite Rainfall Products to Simulate a Major Flash Flood Event in Northern Italy.	Nikolopoulos, E. I., Anagnostou, E. N., & Borga, M.	2013	10.1175/JHM-D-12-09.1	Journal of Hydrometeorolo gy	tRIBS	TMPA, CMORPH, PERSIANN e radar
Distributed Hydrologic Forecast Reliability Using Next- Generation Radar.	Looper, J. P., & Vieux, B. E. (2013)	2013	10.1061/(ASCE)HE.1943- 5584.0000717	Journal of Hydrologic Engineering	Vflo	Radar
Evaluation of Global Flood Detection Using Satellite- Based Rainfall and a Hydrologic Model	Wu, H., Adler, R. F., Hong, Y., Tian, Y., & Policelli, F	2012	10.1175/JHM-D-11-087.1	Journal of Hydrometeorolo gy	CREST	ТМРА
Evaluation of High-Resolution Satellite Rainfall Products through Streamflow Simulation in a Hydrological Modeling of a Small Mountainous Watershed in Ethiopia	Bitew, M. M., Gebremichael, M., Ghebremichael, L. T., & Bayissa, Y. A.	2012	10.1175/2011JHM1292.1	Journal of Hydrometeorolo gy	SWAT	CMORPH, TMPA, PERSIANN
An assessment of distributed flash flood forecasting accuracy using radar and rain gauge input for a physics- based distributed hydrologic model.	Looper, J. P., & Vieux, B. E.	2012	10.1016/j.jhydrol.2011.05.046	Journal of Hydrology	Vflo	Radar
Assessment of evolving TRMM-based multisatellite real- time precipitation estimation methods and their impacts on hydrologic prediction in a high latitude basin	Yong, B., Hong, Y., Ren, LL., Gourley, J. J., Huffman, G. J., Chen, X., Khan, S. I.	2012	10.1029/2011JD017069	Journal of Geophysical Research	VIC	ТМРА

Τίτυιο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Evaluation of satellite rainfall products through hydrologic simulation in a fully distributed hydrologic model	Bitew, M. M., & Gebremichael, M.	2011	10.1029/2010WR009917	Water Resources Research	MIKE SHE	CMORPH, TMPA, PERSIANN
Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin	Behrangi, A., Khakbaz, B., Jaw, T. C., AghaKouchak, A., Hsu, K., & Sorooshian, S.	2011	10.1016/j.jhydrol.2010.11.043	Journal of Hydrology	Sacramento	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Assessment of satellite rainfall products for streamflow simulation in medium watersheds of the Ethiopian highlands	Bitew, M. M., & Gebremichael, M.	2011	10.5194/hess-15-1147-2011	Hydrology and Earth System Sciences	SWAT	TMPA, CMORPH, PERSIANN
Evaluation of remote-sensing-based rainfall products through predictive capability in hydrological runoff modelling	Stisen, S., & Sandholt, I.	2010	10.1002/hyp.7529	Hydrological Processes	MIKE SHE	CMORPH, TMPA, PERSIANN, dentre outros
Adjusting Satellite Precipitation Data to Facilitate Hydrologic Modeling	Tobin, K. J., & Bennett, M. E.	2010	10.1175/2010JHM1206.1	Journal of Hydrometeorolo gy	SWAT	TMPA, CEMORPH
Assessing the skill of satellite-based precipitation estimates in hydrologic applications	Pan, M., Li, H., & Wood, E.	2010	10.1029/2009WR008290	Water Resources Research	VIC	TMPA, CMORPH, PERSIANN, GPCP- 1DD, dentre outros
Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: A case study in Laohahe basin, China	Yong, B., Ren, LL., Hong, Y., Wang, JH., Gourley, J. J., Jiang, SH., Wang, W.	2010	10.1029/2009WR008965	Water Resources Research	VIC	ТМРА
Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa	Li, L., Hong, Y., Wang, J., Adler, R. F., Policelli, F. S., Habib, S., Okello, L.	2009	10.1007/s11069-008-9324-5	Natural Hazards	Xinanjiang	ТМРА
Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates	Collischonn, B., Collischonn, W., & Tucci, C. E. M.	2008	10.1016/j.jhydrol.2008.07.032	Journal of Hydrology	MGB-IPH	TMPA
Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin	Su, F., Hong, Y., & Lettenmaier, D. P.	2008	10.1175/2007JHM944.1	Journal of Hydrometeorolo gy	VIC	ТМРА
Adequacy of satellite derived rainfall data for stream flow modeling	Artan, G., Gadain, H., Smith, J. L., Asante, K., Bandaragoda, C. J., & Verdin, J. P.	2007	10.1007/s11069-007-9121-6	Natural Hazards	GeoSFM	SBRE
Satellite-based Flood Modeling Using TRMM-based Rainfall Products	Harris, A., Rahman, S., Hossain, F., Yarborough, L., Bagtzoglou, A., & Easson, G.	2007	10.3390/s7123416	Sensors	HEC-HMS e TOPMODEL	TMPA
Uncertainty quantification of satellite precipitation estimation and Monte Carlo assessment of the error propagation into hydrologic response	Hong, Y., Hsu, K., Moradkhani, H., & Sorooshian, S.	2006	10.1029/2005WR004398	Water Resources Research	HyMOD	PERSIANN-CCS e radar

ΤΊΤυμο	AUTORES	ANO	DOI	PERIÓDICO	MODELOS	PRODUTOS
Intercomparison of Rain Gauge, Radar, and Satellite- Based Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting	Yilmaz, K. K., Hogue, T. S., Hsu, K., Sorooshian, S., Gupta, H. V., & Wagener, T.	2005	10.1175/JHM431.1	Journal of Hydrometeorolo gy	Sacramento	PERSIANN e radar
Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates	Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., Roads, J. O., & Willmott, C. J.	2004	10.1175/1520- 0442(2004)017<0294:UIPATI> 2.0.CO;2	Journal of Climate	UHN	TMPA, GPCP, NCEP, dentre outros
Effect of precipitation sampling error on simulated hydrological fluxes and states: Anticipating the Global Precipitation Measurement satellites	Nijssen, B.; Lettenmaier, D. P.	2004	10.1029/2003JD003497	Journal of Geophysical Research	VIC	IMERGE

ANEXO 3 – PARÂMETROS DO MODELO

Nas tabelas a seguir, as Unidades de Resposta Hidrológica serão indicadas pelos seguintes códigos:

URH	CÓDIGO
Floresta em solo raso	А
Floresta em solo profundo	В
Agricultura em solo raso	С
Agricultura em solo profundo	D
Campo em solo raso	E
Campo em solo profundo	F
Várzeas e Florestas Inundáveis	G
Áreas Semi-Impermeáveis	Н
Água	

Parâmetros Fixos

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)												
URH	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Α	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
В	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
С	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Е	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
G	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
н	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
I.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

	ALBEDO											
URH	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Α	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
В	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
С	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
D	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Е	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
F	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
G	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Н	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
I	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

ALTURA DA VEGETAÇÃO												
URH	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Α	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
В	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
С	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Е	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
F	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
G	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Н	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<u> </u>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

RESISTÊNCIA SUPERFICIAL												
URH	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Α	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
В	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
С	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
D	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Е	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
F	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
G	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
н	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Parâmetros Calibráveis

MODELO I – Estações Pluviométricas

SUB-	BACIA			Rio N	legro		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	178.2	0.13	0.98	22.64	0.36	0	0.2
В	1047.2	0.7	1.57	13.72	0.54	0	0.2
С	244.8	0.1	0.87	39.06	0.6	0	0.1
D	972.7	0.13	2.23	28.12	0.6	0	0.1
E	508.9	0.1	2.64	6.45	0.6	0	0.1
F	1324.5	0.17	2.98	2.63	0.6	0	0.1
G	399.9	0.13	2.22	22.72	0.6	0	0.1
Н	323.4	0.12	3.35	22.34	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	21.26						
CI	31.51						
СВ	2621.31						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Porto An	nazonas		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	71.4	0.13	0.34	30.53	0.6	0	0.1
В	1694.8	0.21	0.11	12.56	0.6	0	0.1
С	187.6	0.1	0.87	43.79	0.6	0	0.1
D	831	0.22	0.23	15.07	0.6	0	0.1
E	430	0.1	0.64	13.67	0.6	0	0.1
F	1262.5	0.18	0.98	31.32	0.6	0	0.1
G	390.5	0.13	0.22	26.29	0.6	0	0.1
Н	336.9	0.12	0.35	39.9	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	23.26				,	,	,
CI	20.41						
СВ	3860.7						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			São E	Bento		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	123.1	0.74	0.43	24.51	0.6	0	0.2
В	2000	0.2	1.71	26.39	0.6	0	0.2
С	187.2	0.19	2.76	30.86	0.6	0	0.2
D	456.6	0.45	2.14	20.47	0.6	0	0.2
E	574.3	0.79	2.92	19.43	0.6	0	0.2
F	1208.3	1.39	2.44	9.27	0.6	0	0.2
G	665	0.6	1.01	25.2	0.6	0	0.2
н	168.8	0.43	1.76	38.4	0.6	0	0.2
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	29.68						
CI	27.54						
СВ	8746.3						
QB	0.008						

SUB-	BACIA			Pont	ilhão		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	228	0.16	0.09	40.61	0.6	0	0.1
В	710.1	0.13	0.54	40.53	0.6	0	0.1
С	260.3	0.18	0.75	40.75	0.6	0	0.1
D	1056.2	0.19	0.01	40.54	0.6	0	0.1
E	311.8	0.19	0.98	40.4	0.6	0	0.1
F	1734.7	0.18	0.28	40.59	0.6	0	0.1
G	390.5	0.15	0.05	40.29	0.6	0	0.1
Н	336.9	0.15	0.05	40.9	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	21.07						
CI	61.15						
СВ	4266.07						
QB	0.005						

SUB-	BACIA			São Mate	us do Sul		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	71.4	0.13	0.34	30.53	0.6	0	0.1
В	1694.8	0.21	0.11	12.56	0.6	0	0.1
С	187.6	0.1	0.87	43.79	0.6	0	0.1
D	831	0.22	0.23	15.07	0.6	0	0.1
E	430	0.1	0.64	13.67	0.6	0	0.1
F	1262.5	0.18	0.98	31.32	0.6	0	0.1
G	390.5	0.13	0.22	26.29	0.6	0	0.1
Н	336.9	0.12	0.35	39.9	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	23.26						
CI	20.41						
СВ	3860.7						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Div	isa		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	289.7	0.15	0.48	54.89	0.6	0	0.1
В	799.9	0.18	0.08	18.07	0.6	0	0.1
С	489.4	0.1	0.71	36.78	0.6	0	0.1
D	756.2	0.3	0.23	13.59	0.6	0	0.1
E	312.2	0.1	1	20.71	0.6	0	0.1
F	1948	0.1	0.87	25.02	0.6	0	0.1
G	390.5	0.13	0.22	26.29	0.6	0	0.1
Н	336.9	0.12	0.35	39.9	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	24.91						
CI	69.92						
СВ	8674.99						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Fluvić	polis		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	156.2	0.71	2.11	50	0.6	0	0.1
В	290.8	0.55	1.06	19.61	0.6	0	0.1
С	376.3	0.51	2.8	24.09	0.6	0	0.1
D	1244	0.48	1.97	16.8	0.6	0	0.1
E	71.3	0.58	1.94	14.81	0.6	0	0.1
F	2000	0.66	4.09	15.14	0.6	0	0.1
G	234.4	0.44	2.76	27.55	0.6	0	0.1
Н	560.6	0.47	2.86	19.95	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	32.47						
CI	106.33						
СВ	917.35						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Santa Cruz	z do Timbó		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	259.6	0.1	0.55	11.24	0.6	0	0.2
В	600	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
С	1577.6	0.27	0.07	25.38	0.6	0	0.2
D	1600	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
E	1550	0.2	1.06	3.99	0.6	0	0.14
F	1600	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
G	250	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
н	150	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	18.76						
CI	65.03						
СВ	2885.4						
QB	0.0001						

SUB-	BACIA			União da	a Vitória		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	38.8	0.16	3.67	20.39	0.6	0	0.08
В	779.1	0.22	1.8	25.8	0.6	0	0.2
С	100	0.2	2	2	0.6	0	0.1
D	350	0.2	2	2	0.6	0	0.1
E	100	0.2	2	2	0.6	0	0.1
F	350	0.2	2	2	0.6	0	0.1
G	264.2	0.29	0.7	33.35	0.6	0	0.09
Н	300	0.2	2	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	21.98						
CI	141.6						
СВ	8048						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Madeireira	Gavazzoni		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	83.8	0.29	4.65	21.16	0.69	0	0.2
В	670	0.47	0.43	12.3	0.69	0	0.2
С	900	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
D	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
E	475.2	0.14	2.57	34.18	0.75	0	0.15
F	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	25.18						
CI	112.69						
СВ	1323.04						
QB	0						

SUB-	BACIA			Jang	gada		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	602.7	0.55	0.54	38.35	0.51	0	0.2
В	2000	1.28	1.37	26.24	0.24	0	0.2
С	1042.2	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
D	1146	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
E	1258.2	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
F	1382	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	27.22						
CI	99.5						
СВ	5364.68						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			UHE Foz	do Areia		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	276.3	0.26	1.17	13.94	0.52	0	0.2
В	520	0.45	1.42	17.99	0.69	0	0.2
С	900	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
D	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
E	900	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
F	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	13.66						
CI	35.55						
СВ	2822						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Solais	Novo		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	358.7	0.11	0.44	36.48	0.45	0	0.2
В	913.6	0.18	0.56	17.73	0.6	0	0.2
С	1418.4	0.11	0.96	27.18	0.69	0	0.2
D	1146	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
E	1683.5	0.1	0.5	32.24	0.64	0	0.2
F	1382	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	20.82						
CI	50.19						
СВ	2194.04						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Porto Sant	to Antônio		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	309.6	0.61	0.88	26.88	0.6	0	0.2
В	1121.9	0.64	2.99	34.12	0.6	0	0.2
С	108.3	0.19	1.18	31.55	0.6	0	0.2
D	764.4	0.63	1.67	13.74	0.6	0	0.2
E	1293.5	1.37	2.63	16.54	0.6	0	0.2
F	1418.6	0.67	2.15	37.45	0.6	0	0.2
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	15.65						
CI	61.4						
СВ	2229.34						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Águas (do Verê		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	496.8	1.05	1.23	37.91	0.39	0	0.05
В	624	0.29	2.54	24.99	0.64	0	0.03
С	299.7	0.64	0.64	45.76	0.22	0	0.16
D	348	0.11	0.16	36.38	0.52	0	0.07
E	553.5	1.24	4.08	4.37	0.58	0	0.16
F	1579	1.34	1.14	8.43	0.62	0	0.05
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	28.94						
CI	64.2						
СВ	3302						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			UHE S	egredo		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	315.9	0.11	0.1	2	0.6	0	0.1
В	592	0.12	0.1	2	0.6	0	0.1
С	319.5	0.17	0.1	2	0.6	0	0.1
D	403	0.14	0.1	2	0.6	0	0.1
E	770.4	0.14	0.1	2	0.6	0	0.1
F	821	0.16	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	10.06						
CI	49.35						
СВ	6588						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Foz do	Chopim		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1287	0.64	0.1	2	0.6	0	0.1
В	1695	0.88	0.1	2	0.6	0	0.1
С	306	0.75	0.1	2	0.6	0	0.1
D	416	0.12	0.1	2	0.6	0	0.1
E	1066.5	0.8	0.1	2	0.6	0	0.1
F	1585	0.54	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	25.09						
CI	104.99						
СВ	2266.03						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			UHE Sa	nta Clara		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	202.3	0.23	0.1	2	0.6	0	0.1
В	592.1	0.82	0.1	2	0.6	0	0.1
С	477.6	1.39	4.68	15.76	0.28	0	0.11
D	977.7	0.33	1.3	18.16	0.58	0	0.14
E	671.4	0.67	0.1	2	0.6	0	0.1
F	1065	1.35	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	27.53						
CI	32.96						
СВ	9362.22						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			UHE Salt	UHE Salto Caxias			
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
Α	430.2	0.94	0.14	27.05	0.6	0	0.2	
В	1752	0.58	2.4	7.26	0.6	0	0.2	
С	1144.8	1.08	3.51	14.82	0.6	0	0.2	
D	1740	1.27	0.64	23.43	0.6	0	0.2	
E	883.8	1.25	0.68	28.94	0.6	0	0.2	
F	1717	0.29	1.35	8.53	0.6	0	0.2	
G	500	0.1	0.13	2	0.6	0	0.1	
Н	300	0.1	0.04	2	0.6	0	0.1	
1	0	0	0	0	0	0	0	
CS	5.62							
CI	34.05							
СВ	7958							
QB	0.01							

SUB-	BACIA			Porto Ca	panema		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	605.7	1.19	2.51	13.19	0.6	0	0.2
В	743	0.95	3.26	25.07	0.6	0	0.15
С	579.6	1.08	3.89	14.38	0.6	0	0.2
D	537	1.42	2.57	31.01	0.6	0	0.2
E	1322.1	1.44	4.76	8	0.6	0	0.2
F	1387	0.75	3.72	19.44	0.6	0	0.2
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	2						
CI	50.1						
СВ	3854						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Hotel Ca	ataratas		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	539.7	1.27	3.91	12.45	0.6	0	0.18
В	960.7	1.36	4.63	12.76	0.6	0	0.05
С	579.6	1.08	3.89	14.38	0.6	0	0.2
D	537	1.42	2.57	31.01	0.6	0	0.2
E	1322.1	1.44	4.76	8	0.6	0	0.2
F	1387	0.75	3.72	19.44	0.6	0	0.2
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	2.67						
CI	198.6						
СВ	3395.37						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			UHE Sal	to Osório		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	566.1	0.09	0.1	2	0.6	0	0.06
В	726	0.07	0.1	2	0.6	0	0.15
С	270.9	0.09	0.1	2	0.6	0	0.13
D	317	0.12	0.1	2	0.6	0	0.15
E	454.5	0.06	0.1	2	0.6	0	0.14
F	1782	0.13	0.1	2	0.6	0	0.08
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	3.96						
CI	46.8						
СВ	8048						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			UHE Salto	o Santiago		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	280.8	0.18	0.05	2.54	0.6	0	0.1
В	772	0.79	0.15	2.59	0.6	0	0.1
С	280.8	0.18	0.08	2.22	0.6	0	0.1
D	772	0.79	0.04	2.17	0.6	0	0.1
E	280.8	0.18	0.05	2.55	0.6	0	0.1
F	772	0.79	0.12	1.02	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.13	0.87	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.11	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	17.68						
CI	86.25						
СВ	6402						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Frage	osos		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	337.5	0.1	0.18	23.8	0.6	0	0.1
В	2000	0.15	0.17	7.97	0.6	0	0.1
С	250.3	0.1	0.61	26.37	0.6	0	0.1
D	1281.1	0.1	0.26	27.19	0.6	0	0.1
E	358.2	0.1	0.47	21.69	0.6	0	0.1
F	1640.7	0.28	0.81	18.02	0.6	0	0.1
G	423.7	0.1	0.28	20.74	0.6	0	0.1
Н	432.9	0.1	0.33	13.81	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	24.8						
CI	23.1						
СВ	4567.03						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			Palmital	do Meio		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	130.2	0.41	4.04	29.85	1.61	0	0.05
В	778	0.63	1.89	17.73	0.6	0	0.2
С	900	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
D	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
E	508.9	0.2	2.01	52.98	0.69	0	0.2
F	1000	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	19.85						
CI	72.86						
СВ	3083.74						
QB	0						

SUB-	BACIA			Porto Pal	meirinha		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	354.8	0.1	1.2	53.19	0.6	0	0.2
В	2000	0.49	3.14	22.19	0.6	0	0.2
С	211.1	0.1	0.77	17.1	0.6	0	0.2
D	283.9	0.1	0.84	23.43	0.6	0	0.2
E	745.1	0.1	3.76	32.04	0.6	0	0.2
F	1553.8	0.94	2.64	15.73	0.6	0	0.2
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	6.47						
CI	17.71						
СВ	8244.85						
QB	0.01						

SUB-	BACIA			PCH Cav	ernoso II		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	120.6	0.27	0.29	32.14	0.6	0	0.1
В	537	0.52	0.82	17.04	0.6	0	0.1
С	412.2	1.68	2.29	16.94	0.6	0	0.1
D	564	0.21	1.61	23.43	0.6	0	0.1
E	622.8	1.14	3.29	9.97	0.6	0	0.1
F	1172	1.24	1.91	10.41	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	14.99						
CI	62.9						
СВ	3225.92						
QB	0.01						

SUB-I	BACIA			Foz do C	achoeira		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	359.6	0.47	0.55	11.24	0.6	0	0.2
В	600	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
С	1577.6	0.27	0.07	25.38	0.6	0	0.2
D	1600	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
E	1550	0.2	1.06	3.99	0.6	0	0.14
F	1600	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
G	250	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
н	150	0.4	0.1	2	0.6	0	0.1
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	18.76						
CI	65.03						
СВ	2885.4						
QB	0.0001						

SUB-	BACIA			Fazenda	a Aurora		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1135.8	0.37	0.94	22.34	0.6	0	0.2
В	1297	0.57	2.36	13.03	0.6	0	0.19
С	409.5	0.44	3.46	13.84	0.6	0	0.2
D	453	0.1	1.37	24.35	0.6	0	0.2
E	1160.1	0.25	0.26	6.77	0.6	0	0.15
F	1222	0.19	2.05	8.96	0.6	0	0.1
G	500	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
Н	300	0.1	0.1	2	0.6	0	0.1
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	22.04						
CI	19.86						
СВ	7252						
QB	0.01						

MODELO II – Siprec

SUB-	BACIA			Rio N	legro		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	328	0.78	2.68	20.42	0.41	0	0.02
В	1797	0.75	0.73	31.22	0.18	0	0.20
С	885	0.10	2.45	7.85	0.58	0	0.12
D	1938	0.28	2.47	3.45	0.43	0	0.10
E	1109	1.14	1.55	23.69	0.41	0	0.17
F	1880	0.18	1.99	25.57	0.41	0	0.11
G	803	0.76	1.22	24.26	0.44	0	0.15
Н	766	0.29	1.61	33.36	0.18	0	0.19
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	16						
CI	51						
СВ	7030						
QB	0.031						

SUB-I	BACIA			Porto Ar	nazonas		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1336	1.35	4.50	8.73	0.42	0	0.05
В	1347	1.32	1.90	10.38	0.20	0	0.08
С	775	1.44	3.76	11.81	0.39	0	0.09
D	1170	0.32	0.79	20.93	0.45	0	0.13
E	103	1.20	4.49	18.35	0.56	0	0.07
F	1852	0.48	3.31	26.81	0.33	0	0.14
G	497	0.79	1.85	29.70	0.67	0	0.14
Н	347	0.52	3.93	39.62	0.43	0	0.16
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	22						
CI	193						
СВ	3330						
QB	0.072						

SUB-	BACIA			São I	Bento		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	465	0.51	0.91	7.54	0.58	0	0.20
В	1434	0.75	0.95	22.45	0.23	0	0.02
С	752	1.00	3.46	34.32	0.55	0	0.05
D	1027	1.31	3.04	8.46	0.63	0	0.12
E	844	0.40	2.44	25.16	0.60	0	0.13
F	1438	1.26	0.77	3.54	0.53	0	0.03
G	663	0.77	1.36	9.68	0.64	0	0.20
Н	1847	0.77	1.52	32.61	0.53	0	0.18
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	16						
CI	103						
СВ	3438						
QB	0.053						

SUB-I	BACIA			Pont	ilhão		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	215	0.79	1.40	23.20	0.18	0	0.12
В	1598	0.10	2.90	39.48	0.19	0	0.05
С	1203	0.19	4.74	19.44	0.68	0	0.04
D	1763	1.42	2.95	2.09	0.68	0	0.05
E	559	1.47	1.09	8.01	0.45	0	0.17
F	1545	1.59	0.29	2.13	0.47	0	0.05
G	1886	0.39	3.25	24.41	0.47	0	0.14
н	1243	0.51	3.01	17.56	0.66	0	0.11
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	182						
СВ	3435						
QB	0.033						

SUB-	BACIA			São Mate	us do Sul		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	279	0.27	0.08	22.05	0.21	0	0.13
В	1524	1.39	4.40	33.31	0.68	0	0.16
С	1048	0.65	2.77	9.14	0.50	0	0.05
D	1957	1.45	4.36	28.82	0.26	0	0.09
E	1173	0.65	1.07	34.37	0.65	0	0.10
F	1839	0.32	2.50	39.58	0.54	0	0.03
G	81	0.60	0.68	2.29	0.37	0	0.06
Н	521	0.85	2.83	39.27	0.27	0	0.14
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	21						
CI	51						
СВ	8870						
QB	0.059						

SUB-I	BACIA			Div	risa		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	150	0.46	4.89	6.93	0.56	0	0.06
В	1227	0.11	0.89	38.77	0.48	0	0.06
С	1187	1.45	3.66	39.40	0.40	0	0.10
D	1384	1.49	0.25	19.19	0.68	0	0.19
E	1250	1.28	2.17	31.33	0.34	0	0.18
F	1575	0.62	4.40	17.75	0.45	0	0.12
G	807	0.39	2.87	24.59	0.53	0	0.12
Н	1315	0.25	2.27	24.62	0.54	0	0.17
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	21						
CI	72						
СВ	693						
QB	0.013						

SUB-	BACIA			Fluvi	ópolis		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	366	0.44	2.96	5.89	0.53	0	0.01
В	1344	1.45	1.15	19.37	0.51	0	0.03
С	1405	0.56	4.47	8.79	0.39	0	0.12
D	1913	1.04	3.60	1.27	0.40	0	0.19
E	641	0.31	3.72	29.45	0.45	0	0.20
F	1901	0.23	0.67	27.34	0.32	0	0.05
G	1049	1.47	3.35	7.72	0.44	0	0.04
Н	242	0.25	0.74	16.14	0.37	0	0.08
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	13						
CI	38						
СВ	9733						
QB	0.06						

SUB-	BACIA			Santa Cruz	z do Timbó		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	953	0.64	0.53	4.38	0.27	0	0.17
В	1550	0.39	0.31	25.51	0.45	0	0.00
С	1464	0.77	0.83	6.95	0.37	0	0.01
D	1923	0.78	0.22	5.39	0.43	0	0.10
E	1442	1.58	4.02	7.98	0.31	0	0.18
F	1702	0.30	3.38	17.04	0.21	0	0.20
G	1127	0.76	2.19	9.41	0.31	0	0.08
Н	215	0.82	4.60	29.85	0.43	0	0.02
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	165						
СВ	4224						
QB	0.08						

SUB-	BACIA			União d	a Vitória		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	143	0.80	0.68	1.92	0.55	0	0.10
В	1476	0.25	0.50	18.73	0.48	0	0.13
С	60	0.15	4.10	31.42	0.65	0	0.12
D	1069	1.01	2.59	4.99	0.62	0	0.09
E	591	0.65	0.45	11.61	0.26	0	0.02
F	1679	1.47	1.96	22.19	0.62	0	0.18
G	1374	0.80	1.67	30.92	0.41	0	0.19
Н	1082	0.92	3.06	28.96	0.68	0	0.05
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	10						
CI	161						
СВ	2297						
QB	0.074						

SUB-	BACIA			Madeireira	Gavazzoni		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	954	1.10	0.86	30.18	0.42	0	0.04
В	1310	0.27	2.94	7.65	0.25	0	0.12
С	233	1.31	1.48	23.83	0.58	0	0.01
D	979	0.89	4.83	7.78	0.23	0	0.17
E	657	0.25	2.46	16.30	0.27	0	0.01
F	1973	1.00	3.34	12.37	0.61	0	0.19
G	668	1.57	1.42	32.54	0.29	0	0.04
Н	1931	1.14	0.20	4.65	0.51	0	0.05
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	13						
CI	107						
СВ	8414						
QB	0.015						

SUB-	BACIA			Jang	gada		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	645	1.03	3.34	19.10	0.68	0	0.19
В	1110	0.11	1.77	37.99	0.68	0	0.02
С	1612	0.97	2.27	20.18	0.52	0	0.03
D	1906	0.37	2.44	24.86	0.29	0	0.01
E	238	0.71	4.40	21.62	0.54	0	0.19
F	1723	1.08	4.23	22.39	0.46	0	0.15
G	1764	1.03	0.51	37.96	0.59	0	0.09
Н	484	0.92	2.50	37.42	0.59	0	0.16
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	25						
CI	68						
СВ	9427						
QB	0.045						

SUB-	BACIA			UHE Foz	do Areia		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	318	0.44	3.70	24.51	0.18	0	0.13
В	1731	0.19	0.80	10.34	0.33	0	0.15
С	529	1.21	3.06	25.57	0.29	0	0.13
D	1697	0.29	4.65	31.55	0.55	0	0.06
E	1432	0.12	3.01	17.39	0.64	0	0.12
F	1731	0.46	1.68	1.45	0.60	0	0.03
G	1754	0.17	0.72	13.24	0.18	0	0.17
Н	1080	0.17	3.08	17.91	0.34	0	0.16
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	15						
CI	108						
СВ	7711						
QB	0.035						

SUB-	BACIA			Solais	Novo		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	488	1.54	0.67	21.24	0.36	0	0.16
В	1967	0.19	1.94	21.38	0.48	0	0.20
С	552	0.59	3.05	2.54	0.19	0	0.18
D	1755	0.63	4.20	7.45	0.46	0	0.02
E	1066	1.22	0.45	34.91	0.26	0	0.15
F	1355	0.32	0.24	32.02	0.48	0	0.00
G	1543	1.35	1.38	1.06	0.67	0	0.18
Н	1328	0.27	3.21	20.01	0.57	0	0.13
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	22						
CI	127						
СВ	865						
QB	0.049						

SUB-	BACIA			Porto San	to Antônio		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	199	1.47	4.15	23.11	0.32	0	0.05
В	1916	0.67	4.96	26.72	0.69	0	0.09
С	421	0.73	4.81	10.62	0.53	0	0.05
D	1404	0.78	4.57	5.23	0.54	0	0.20
E	1302	0.43	0.93	39.22	0.41	0	0.19
F	1512	0.91	3.86	33.15	0.41	0	0.06
G	1227	0.88	1.75	10.71	0.39	0	0.00
Н	1029	1.17	1.09	13.60	0.46	0	0.10
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	16						
CI	55						
СВ	6576						
QB	0.003						

SUB-I	BACIA			Águas	do Verê		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	680	0.14	0.95	22.12	0.33	0	0.09
В	1176	0.68	4.39	17.64	0.67	0	0.12
С	1159	1.52	4.69	26.67	0.26	0	0.05
D	1165	0.67	2.01	7.09	0.64	0	0.08
E	834	0.34	3.80	39.88	0.47	0	0.11
F	1902	1.03	2.13	20.08	0.43	0	0.15
G	203	0.68	2.36	24.78	0.40	0	0.17
Н	291	0.22	3.22	35.37	0.62	0	0.17
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	24			•			
CI	134						
СВ	2523						
QB	0.003						

SUB-	BACIA			UHE S	egredo		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	976	0.96	4.83	35.23	0.42	0	0.16
В	1090	1.33	3.51	36.80	0.55	0	0.19
С	922	0.27	2.54	19.15	0.18	0	0.18
D	1406	1.29	3.70	9.51	0.44	0	0.20
E	1017	1.32	4.37	4.59	0.35	0	0.05
F	1399	1.52	3.38	6.35	0.58	0	0.08
G	1071	0.88	1.18	20.11	0.63	0	0.01
Н	1081	1.21	2.14	5.44	0.47	0	0.01
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	25						
CI	73						
СВ	9232						
QB	0.013						

SUB-	BACIA			Foz do	Chopim		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	964	1.08	0.51	37.40	0.65	0	0.09
В	1869	1.00	2.56	21.67	0.23	0	0.20
С	1491	1.25	1.41	33.47	0.62	0	0.14
D	1642	1.26	2.77	33.76	0.62	0	0.00
E	773	1.51	0.40	9.88	0.42	0	0.03
F	1515	1.48	4.03	6.92	0.55	0	0.10
G	1850	0.21	2.56	18.07	0.26	0	0.01
Н	818	0.52	2.13	15.15	0.48	0	0.20
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	15						
CI	96						
СВ	1013						
QB	0.071						

SUB-I	BACIA			UHE Sa	nta Clara		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	828	0.78	1.72	5.40	0.48	0	0.13
В	1652	0.55	0.43	26.50	0.38	0	0.06
С	1330	0.41	0.49	4.68	0.17	0	0.02
D	1368	1.41	4.46	32.29	0.66	0	0.16
E	1265	0.80	0.99	29.19	0.53	0	0.10
F	1471	0.76	2.40	23.41	0.62	0	0.08
G	596	0.47	2.83	22.64	0.67	0	0.12
Н	727	1.11	3.45	11.73	0.22	0	0.04
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	11						
CI	154						
СВ	2555						
QB	0.037						

SUB-I	BACIA			UHE Sal	to Caxias		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1021	1.25	0.47	6.06	0.34	0	0.04
В	1820	0.89	4.81	29.58	0.67	0	0.14
С	652	1.35	3.70	7.67	0.45	0	0.14
D	1622	0.25	5.00	4.50	0.51	0	0.19
E	534	0.62	2.19	20.22	0.53	0	0.13
F	1459	0.97	2.60	4.86	0.33	0	0.17
G	813	0.94	1.82	17.65	0.68	0	0.10
н	675	1.30	2.18	11.28	0.38	0	0.16
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	12						
CI	48						
СВ	560						
QB	0.056						

SUB-	BACIA			Porto Ca	panema		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	986	0.29	1.70	31.59	0.45	0	0.17
В	1505	0.49	0.48	4.07	0.19	0	0.03
С	1645	0.44	2.20	26.25	0.67	0	0.09
D	1784	0.36	2.05	17.50	0.29	0	0.13
E	1235	1.53	3.83	5.97	0.46	0	0.03
F	1939	0.44	3.80	5.11	0.35	0	0.14
G	487	0.28	1.06	2.65	0.58	0	0.12
н	229	1.28	4.73	20.29	0.19	0	0.12
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	19						
CI	56						
СВ	5193						
QB	0.072						

SUB-	BACIA			Hotel Ca	ataratas		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	573	0.19	0.90	15.20	0.21	0	0.13
В	1657	1.40	1.38	28.47	0.33	0	0.17
С	502	0.37	2.69	14.58	0.64	0	0.11
D	1768	0.75	3.29	10.54	0.62	0	0.20
E	1380	0.61	0.63	12.99	0.66	0	0.05
F	1758	1.19	2.98	11.75	0.23	0	0.13
G	833	0.93	3.61	19.10	0.58	0	0.14
Н	1284	0.28	4.96	24.80	0.54	0	0.14
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	15						
CI	73						
СВ	3334						
QB	0.072						

SUB-	BACIA			UHE Sal	to Osório		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	245	1.25	4.44	30.79	0.65	0	0.13
В	1150	0.47	3.98	1.07	0.66	0	0.20
С	1367	1.49	3.33	38.25	0.40	0	0.04
D	1510	0.41	4.35	9.10	0.41	0	0.08
E	893	1.14	1.97	30.26	0.40	0	0.07
F	1577	0.70	4.06	17.22	0.49	0	0.02
G	1694	0.77	2.35	35.69	0.54	0	0.17
Н	1586	1.26	2.64	23.47	0.56	0	0.18
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	11						
CI	112						
СВ	662						
QB	0.03						

SUB-I	BACIA			UHE Salto	o Santiago		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1911	1.39	0.62	24.62	0.40	0	0.12
В	1938	0.22	4.32	8.39	0.31	0	0.16
С	600	0.75	3.93	9.45	0.62	0	0.08
D	979	1.45	1.57	23.10	0.20	0	0.14
E	981	0.85	2.69	10.35	0.40	0	0.07
F	1609	0.44	1.34	13.69	0.47	0	0.17
G	906	0.90	0.29	2.51	0.69	0	0.13
н	887	0.90	1.12	21.03	0.50	0	0.10
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	22						
CI	57						
СВ	9770						
QB	0.079						

SUB-I	BACIA			Frag	osos		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	1309	0.24	1.14	0.89	0.55	0	0.04
В	1630	1.60	1.40	26.59	0.33	0	0.08
С	305	0.88	0.79	26.48	0.28	0	0.15
D	1772	1.02	4.53	16.73	0.30	0	0.07
E	106	0.11	3.87	39.89	0.18	0	0.10
F	1834	0.15	0.85	14.96	0.61	0	0.10
G	1693	1.24	0.99	3.18	0.27	0	0.00
Н	1086	0.54	4.87	33.61	0.58	0	0.12
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	18						
CI	198						
СВ	4910						
QB	0.023						

SUB-	BACIA			Palmital	do Meio		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	957	0.53	2.22	32.00	0.32	0	0.08
В	1716	0.82	2.44	23.32	0.50	0	0.03
С	760	0.64	4.49	10.81	0.35	0	0.19
D	1197	1.17	3.37	24.09	0.58	0	0.07
E	425	0.88	2.33	28.91	0.66	0	0.08
F	1673	0.81	4.82	28.84	0.50	0	0.04
G	1182	0.66	3.16	11.36	0.41	0	0.11
Н	1356	0.95	3.86	15.43	0.37	0	0.06
I	0	0	0	0	0	0	0
CS	19						
CI	153						
СВ	8079						
QB	0.014						

SUB-I	BACIA			Porto Pa	Imeirinha		
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Α	376	0.37	4.18	38.41	0.65	0	0.09
В	1762	0.53	3.31	4.67	0.26	0	0.02
С	428	0.69	0.90	31.27	0.26	0	0.13
D	1100	0.62	1.24	35.15	0.30	0	0.04
E	448	1.15	1.07	20.64	0.40	0	0.05
F	1412	1.45	2.22	34.73	0.32	0	0.10
G	501	0.96	1.00	17.97	0.56	0	0.13
Н	488	0.10	3.18	12.65	0.19	0	0.14
1	0	0	0	0	0	0	0
CS	13						
CI	146						
СВ	8919						
QB	0.099						

SUB-BACIA		PCH Cavernoso II						
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
Α	395	1.05	1.67	8.13	0.56	0	0.14	
В	1093	0.31	4.26	11.71	0.36	0	0.19	
С	804	0.73	3.63	24.41	0.50	0	0.10	
D	1180	0.52	3.39	33.14	0.68	0	0.06	
E	1350	1.00	4.52	30.57	0.46	0	0.13	
F	1681	1.05	3.85	15.90	0.43	0	0.02	
G	1774	0.90	2.68	20.87	0.21	0	0.19	
Н	1876	1.52	0.79	7.59	0.25	0	0.14	
I	0	0	0	0	0	0	0	
CS	15							
CI	114							
СВ	7802							
QB	0.044							

SUB-BACIA		Foz do Cachoeira						
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	
Α	519	1.28	4.98	5.81	0.66	0	0.10	
В	1472	0.13	2.55	10.06	0.52	0	0.06	
С	1567	0.31	2.68	36.92	0.67	0	0.13	
D	1623	1.04	2.36	32.91	0.42	0	0.03	
E	644	1.03	4.66	22.22	0.39	0	0.19	
F	1877	1.56	3.83	14.97	0.40	0	0.11	
G	702	0.43	2.24	7.31	0.44	0	0.18	
Н	922	0.15	3.63	28.56	0.30	0	0.04	
1	0	0	0	0	0	0	0	
CS	11							
CI	52							
СВ	3940							
QB	0.082							

SUB-BACIA		Fazenda Aurora												
	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc							
Α	462	0.84	3.01	7.86	0.50	0	0.08							
В	1131	0.40	0.36	9.15	0.44	0	0.12							
С	656	1.25	1.66	39.40	0.35	0	0.03							
D	1120	0.64	1.32	25.51	0.39	0	0.05							
E	101	1.55	1.58	6.65	0.21	0	0.13							
F	1626	1.60	2.84	29.37	0.56	0	0.03							
G	1276	1.42	3.41	33.51	0.49	0	0.02							
Н	219	0.54	3.76	20.04	0.22	0	0.15							
I	0	0	0	0	0	0	0							
CS	23													
CI	192													
СВ	8540													
QB	0.056													
TEMPERATURA (°C)														
------------------	-------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------
Código	Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
83783	CAMPO MOURAO	23.8	23.4	23.1	21.1	17.6	16.2	15.8	17.6	19.3	21.6	22.8	23.5	20.5
83813	CASTRO	20.9	20.7	19.9	17.9	14.3	12.9	12.5	13.9	15.3	17.6	19.2	20.2	17.1
83842	CURITIBA	20.9	21.0	20.1	18.3	15.1	13.9	13.5	14.6	15.3	17.1	18.9	20.2	17.4
83811	IVAI	22.0	21.8	21.0	18.9	15.3	13.9	13.8	15.2	16.7	18.8	20.4	21.5	18.3
83887	CAMPOS NOVOS	20.8	20.5	19.5	17.1	13.6	12.6	12.1	13.7	14.5	16.9	18.8	20.4	16.7
83883	CHAPECO	23.5	22.9	22.0	19.3	15.9	14.8	14.4	16.1	17.1	19.8	21.4	23.0	19.2
83872	INDAIAL	24.7	24.7	24.0	21.6	17.9	16.3	15.7	17.0	18.3	20.4	22.3	23.9	20.6
83826	FOZ DO IGUAÇU	25.5	25.4	23.8	20.8	17.7	15.8	15.7	17.5	19.0	21.4	23.1	25.1	20.9
83828	TOLEDO	24.4	24.0	23.4	20.7	17.7	15.7	17.1	17.1	18.9	21.6	22.7	23.4	20.6
83860	PALMAS	19.3	19.3	17.9	14.8	12.2	10.7	10.4	11.3	13.7	15.5	17.2	18.5	15.1
83834	GUARAPUAVA	20.2	20.2	19.3	16.7	14.4	12.6	12.3	14.5	15.8	17.1	18.5	19.5	16.8
83864	PORTO UNIÃO	21.8	21.8	20.5	17.1	14.4	12.3	12.6	13.6	15.6	17.7	19.5	21.1	17.3
83865	IRIENÓPOLIS	20.7	20.8	19.5	16.1	12.9	11.4	11.4	12.6	14.8	16.9	18.5	19.9	16.3
83836	IRATI	21.1	21.1	20.1	17.7	14.1	13.3	12.9	14.5	15.8	17.8	19.3	20.6	17.4
83025	SÃO MATEUS DO SUL	21.3	21.2	20.1	16.8	14.0	12.7	12.3	13.9	15.9	17.4	19.3	20.4	17.1
83867	RIO NEGRO	20.4	20.7	19.5	16.7	13.9	12.6	12.4	13.5	15.1	16.6	18.4	19.7	16.6
	ΜΊΝΙΜΟ	19.3	19.3	17.9	14.8	12.2	10.7	10.4	11.3	13.7	15.5	17.2	18.5	
	MÉDIA	22.0	21.8	20.9	18.2	15.1	13.6	13.4	14.8	16.3	18.4	20.0	21.3	
	MÁXIMO	25.5	25.4	24.0	21.6	17.9	16.3	17.1	17.6	19.3	21.6	23.1	25.1	
	AMPLITUDE	6.2	6.1	6.1	6.8	5.7	5.6	6.7	6.3	5.6	6.1	5.9	6.6	
	DESVIO PADRÃO	1.8	1.7	1.8	2.0	1.8	1.7	1.8	1.8	1.7	2.0	1.9	1.9	

ANEXO 4 – NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

UMIDADE RELATIVA DO AR (%)														
Código	Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
83783	CAMPO MOURAO	84.3	85.2	82.6	82.7	84.6	85.5	82.7	77.8	77.3	78.8	78.0	81.3	81.7
83813	CASTRO	84.0	84.6	84.6	84.9	85.8	85.5	83.8	81.8	82.2	82.2	80.1	81.2	83.4
83842	CURITIBA	81.2	81.3	82.2	82.5	83.4	82.3	80.4	77.1	80.8	81.7	79.2	79.6	81.0
83811	IVAI	79.9	80.6	79.7	81.7	83.7	83.7	80.1	73.3	73.4	75.5	74.5	76.5	78.6
83887	CAMPOS NOVOS	76.0	78.1	77.7	77.5	79.4	79.6	77.2	72.0	75.8	76.0	70.9	70.7	75.9
83883	CHAPECO	72.0	75.5	74.7	76.0	77.9	77.6	74.2	68.2	70.9	72.0	68.0	68.3	72.9
83872	INDAIAL	83.5	85.2	85.7	85.7	86.8	88.2	87.6	86.2	85.8	84.8	82.3	81.8	85.3
83826	FOZ DO IGUAÇU	77.0	80.0	82.0	85.0	86.0	85.0	83.0	80.0	79.0	78.0	75.0	74.0	80.3
83828	TOLEDO	75.4	78.2	74.6	74.4	76.4	76.9	73.5	71.5	70.7	70.3	71.6	75.5	74.1
83860	PALMAS	80.7	81.5	83.0	83.0	85.1	86.1	85.4	82.9	81.2	81.3	79.5	78.0	82.3
83834	GUARAPUAVA	80.9	81.4	81.2	80.3	80.2	79.4	76.2	74.5	78.1	76.8	76.0	77.2	78.5
83864	PORTO UNIÃO	78.0	81.0	81.0	83.0	86.0	87.0	85.0	81.1	81.0	77.0	75.0	76.0	80.9
83865	IRIENÓPOLIS	80.4	82.2	83.9	83.8	84.9	85.7	84.9	82.6	82.5	80.2	77.3	78.9	82.3
83836	IRATI	78.9	80.5	80.5	81.6	83.1	83.3	80.4	74.5	75.9	78.0	74.6	76.5	79.0
83025	SÃO MATEUS DO SUL	77.5	80.1	81.1	81.6	82.9	83.9	81.3	78.1	78.3	78.4	73.8	76.1	79.4
83867	RIO NEGRO	81.0	83.0	83.0	83.0	81.0	83.0	81.0	80.0	82.0	80.0	78.0	80.0	81.3
	MÍNIMO	72.0	75.5	74.6	74.4	76.4	76.9	73.5	68.2	70.7	70.3	68.0	68.3	
	MÉDIA	79.4	81.2	81.1	81.7	83.0	83.3	81.0	77.6	78.4	78.2	75.9	77.0	
	MÁXIMO	84.3	85.2	85.7	85.7	86.8	88.2	87.6	86.2	85.8	84.8	82.3	81.8	
	AMPLITUDE	12.3	9.7	11.1	11.3	10.4	11.3	14.1	18.0	15.1	14.5	14.3	13.5	
	DESVIO PADRÃO	3.3	2.6	3.2	3.2	3.1	3.3	4.1	4.9	4.3	3.7	3.7	3.7	

PRESSÃO ATMOSFÉRICA (kPa)														
Código	Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
83783	CAMPO MOURAO	94.3	94.5	94.5	94.7	94.8	94.9	95.0	94.9	94.7	94.5	94.4	94.3	94.6
83813	CASTRO	90.2	90.4	90.4	90.5	90.6	90.7	90.8	90.7	90.6	90.5	90.3	90.2	90.5
83842	CURITIBA	91.0	91.1	91.2	91.3	91.4	91.5	91.6	91.5	91.4	91.3	91.1	91.0	91.3
83811	IVAI	92.2	92.3	92.3	92.5	92.6	92.7	92.8	92.7	92.6	92.4	92.2	92.1	92.4
83887	CAMPOS NOVOS	90.8	90.9	91.0	91.1	91.2	91.2	91.3	91.3	91.2	91.0	90.8	90.8	91.0
83883	CHAPECO	93.5	93.7	93.7	93.9	94.0	94.1	94.1	94.1	94.0	93.8	93.6	93.5	93.8
83872	INDAIAL	100.3	100.5	100.6	100.8	101.0	101.1	101.2	101.1	101.0	100.8	100.6	100.4	100.8
83826	FOZ DO IGUAÇU	98.9	98.9	99.1	99.3	99.5	99.6	99.7	99.5	99.4	99.1	98.9	98.8	99.2
83828	TOLEDO	94.5	94.7	94.7	94.8	94.9	95.1	95	95	95	94.7	94.6	94.5	94.8
83860	PALMAS	89.3	89.4	89.5	89.5	89.6	89.6	89.7	89.6	89.5	89.4	89.3	89.3	89.5
83834	GUARAPUAVA	89.3	89.3	89.4	89.5	89.6	89.6	89.7	89.6	89.5	89.4	89.3	89.2	89.5
83864	PORTO UNIÃO	92.4	92.5	92.6	92.8	92.8	92.9	93	92.9	92.8	92.6	92.5	92.4	92.7
83865	IRIENÓPOLIS	92.6	92.7	92.8	92.9	93.1	93.2	93.3	93.1	93	92.8	92.7	92.6	92.9
83836	IRATI	91.5	91.6	91.6	91.8	91.9	92.0	92.0	92.0	91.9	91.7	91.5	91.4	91.7
83025	SÃO MATEUS DO SUL	92.1	92.2	92.3	92.4	92.6	92.6	92.7	92.6	92.4	92.3	92.1	92.1	92.4
83867	RIO NEGRO	92.1	92.1	92.3	92.4	92.5	92.6	92.7	92.6	92.5	92.3	92.1	92.1	92.4
	ΜΊΝΙΜΟ	89.3	89.3	89.4	89.5	89.6	89.6	89.7	89.6	89.5	89.4	89.3	89.2	
	MÉDIA	92.8	92.9	93.0	93.1	93.2	93.3	93.4	93.3	93.2	93.0	92.9	92.8	
	MÁXIMO	100.3	100.5	100.6	100.8	101.0	101.1	101.2	101.1	101.0	100.8	100.6	100.4	
	AMPLITUDE	11.0	11.2	11.2	11.3	11.4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.4	11.3	11.2	
	DESVIO PADRÃO	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	

VELOCIDADE DO VENTO (m/s)														
Código	Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
83783	CAMPO MOURAO	2.4	2.3	2.5	2.6	2.4	2.4	2.6	2.7	2.9	2.9	2.8	2.5	2.6
83813	CASTRO	1.5	1.4	1.5	1.4	1.5	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
83842	CURITIBA	2.3	2.2	2.0	2.0	1.9	2.1	2.1	2.1	2.3	2.4	2.5	2.4	2.2
83811	IVAI	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3	1.2	1.3
83887	CAMPOS NOVOS	3.3	3.1	3.2	3.2	3.1	3.1	3.5	3.6	4.0	3.8	3.6	3.4	3.4
83883	CHAPECO	1.8	1.8	1.6	1.8	1.8	1.9	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8	1.9
83872	INDAIAL	1.7	1.6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7
83826	FOZ DO IGUAÇU	1.1	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2	1.1	1.3	1.4	1.3	1.3	1.1	1.2
83828	TOLEDO	2.3	2.6	2.4	2.5	2.5	2.8	3.2	2.9	2.8	3.0	2.7	2.3	2.7
83860	PALMAS	1.0	1.2	1.1	1.0	0.8	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1
83834	GUARAPUAVA	2.2	2.0	2.2	2.0	1.8	2.0	2.5	2.5	2.5	2.6	2.4	2.5	2.3
83864	PORTO UNIÃO	1.1	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.0
83865	IRIENÓPOLIS	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
83836	IRATI	2.1	1.9	1.8	1.8	1.6	1.7	1.9	1.9	2.2	2.1	2.2	2.1	1.9
83025	SÃO MATEUS DO SUL	1.5	1.5	1.4	1.1	1.0	1.2	1.4	1.7	1.8	2.0	1.9	2.1	1.6
83867	RIO NEGRO	2.0	2.0	1.9	1.7	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.2	1.9
	ΜΊΝΙΜΟ	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	0.8	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	
	MÉDIA	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.7	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9	
	MÁXIMO	3.3	3.1	3.2	3.2	3.1	3.1	3.5	3.6	4.0	3.8	3.6	3.4	
	AMPLITUDE	2.3	2.1	2.3	2.4	2.3	2.2	2.7	2.6	3.0	2.7	2.6	2.3	
	DESVIO PADRÃO	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	

ANEXO 5 – ESTATÍSTICAS DA INTERPOLAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

O resumo das estatísticas encontra-se na tabela a seguir. Algumas estações não foram avaliadas pois dentre as 1261 estações virtuais extraídas do Siprec não havia estação com proximidade considerada suficiente para análise pontual $(d \le 5 \text{ km})$.

Código	Nome	μ (mm)	σ (mm)	MAE (mm)	RMSE (mm)	r
2550069	SÃO MATEUS DO SUI	19	5.8	3.5	6.1	0 904
2549105	SÃO BENTO	0.5	6.6	3.9	6.6	0.870
2650028	FOZ DO CACHOEIRA	17	6.4	3.4	67	0.871
2651056	PALMITAL DO MEIO	1.0	6.6	3.6	6.7	0.845
2650029	FOZ DO TIMBÓ	1.0	6.7	3.7	6.8	0.866
2550070	PONTILHÃO	1.2	6.8	3.7	6.9	0.872
2551054	MADEIREIRA GAVAZZONI	1.6	6.8	3.1	7.0	0.892
2651058	PORTO VITÓRIA	0.7	7.0	3.8	7.0	0.878
2650027	FLUVIÓPOLIS	1.7	7.0	3.4	7.2	0.832
2551060	FUNDÃO	0.7	7.3	4.0	7.3	0.850
2651059	UNIÃO DA VITÓRIA	0.7	7.4	4.3	7.5	0.838
2551074	GUARAPUAVINHA	1.2	7.6	3.6	7.7	0.882
2649074	RIO NEGRO	1.9	7.6	4.0	7.9	0.815
2551073	FAZENDA AURORA	0.7	8.0	4.4	8.0	0.890
2650026	DIVISA	0.2	8.0	4.9	8.0	0.821
2649073	FRAGOSOS	2.0	8.0	4.2	8.2	0.809
2651055	FOZ DO AREIA	-0.7	8.5	5.3	8.5	0.804
2552057	SEGREDO	0.8	8.8	4.7	8.9	0.803
2651054	SOLAIS NOVOS	1.6	8.8	5.0	8.9	0.855
2650030	SANTA CRUZ DO TIMBÓ	0.7	9.6	5.3	9.6	0.613
2549106	PORTO AMAZONAS	0.1	9.7	4.7	9.7	0.783
2553066	BALSA DO JARACATIÁ	3.3	9.7	4.9	10.2	0.842
2552056	ÁGUAS DO VERÊ	3.5	9.8	5.5	10.4	0.831
2553061	SALTO CAXIAS	3.4	9.9	5.5	10.5	0.804
2551059	SANTA CLARA	-1.6	11.0	5.2	11.1	0.783
2552073	PCH CAVERNOSO II	-4.9	11.3	8.3	12.3	0.622
2552062	VAU DOS RIBEIROS	-5.1	11.5	8.1	12.5	0.642
2652048	PORTO PALMEIRINHA	0.1	12.5	7.3	12.5	0.686
2553062	PORTO SANTO ANTONIO	4.1	12.6	6.8	13.3	0.785
2651057		2.9	13.8	5.8	14.1	0.718
2551008		-0.1	14.2	9.7	14.2	0.516
2549017	FAZENDINHA	3.0	14.3	8.6	14.6	0.226
2549093	GUAJUVIRA	2.1	15.4	9.9	15.5	0.037
2553070		4.8	15.7	7.6	16.4	0.687
2652031	SAO LOURENÇO DO OESTE	4.9	17.0	11.5	17.7	0.136
2549061		-2.0	17.8	11.1	17.9	0.388
2552030	UHE SALTO SANTIAGO CHOPINZINHO	-3.2	18.9	12.9	19.2	0.484
2653002	DIONISIO CERQUEIRA	7.1	19.5	12.8	20.7	0.284
2652023	CHOPIM	-1.9	20.7	13.9	20.8	0.469

Além disso, também são apresentados os quadros resumo de cada uma das estações.



SÃO MATEUS DO SUL

SÃO BENTO



FOZ DO CACHOEIRA



PALMITAL DO MEIO



FOZ DO TIMBÓ



PONTILHÃO



MADEIREIRA GAVAZZONI



PORTO VITÓRIA



FLUVIÓPOLIS



FUNDÃO



SANTA CLARA



GUARAPUAVINHA NOVO (UHE SANTA CLARA RIO PINHÃO)



RIO NEGRO



FAZENDA AURORA (SANTA CLARA MONTANTE)



232

DIVISA



FRAGOSOS



FOZ DO AREIA



SEGREDO



SOLAIS NOVOS



SANTA CRUZ DO TIMBÓ



PORTO AMAZONAS



239

BALSA DO JARACATIÁ



240

ÁGUAS DO VERÊ



SALTO CAXIAS



SANTA CLARA



PCH CAVERNOSO II



VAU DOS RIBEIROS



PORTO PALMEIRINHA



PORTO SANTO ANTÔNIO



JANGADA



248

COLÔNIA VITÓRIA



FAZENDINHA



GUAJUVIRA


PORTO CAPANEMA



SÃO LOURENÇO DO OESTE



QUITANDINHA



UHE SALTO SANTIAGO CHOPINZINHO PLU



DIONÍSIO CERQUEIRA



снорім



257



ANEXO 6 - HIDROGRAMAS COMPARATIVOS 2020





MADEIREIRA GAVAZZONI













ANEXO 7 - HIDROGRAMAS COMPARATIVOS 2017 - 2020



















UNIÃO DA VITÓRIA

