

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH PARA A BACIA DO RIO TAQUARI - ANTAS**

*Luísa Weizenmann Kornowski (Universidade Federal do Rio Grande do Sul); Fernando Mainardi  
Fan (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)*

**RESUMO** - A bacia hidrográfica do Rio Taquari - Antas, localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, abrange a região dos campos de cima da serra e o Vale do Taquari. Aproximadamente com 26 mil km<sup>2</sup> de área de drenagem, tem essencial importância para a região sob o ponto de vista econômico. Além da agropecuária, o setor industrial têxtil, metalúrgico, madeireiro, alimentício são as principais atividades existentes. A análise da quantidade de água presente e disponível na área englobada pela bacia hidrográfica é fundamental para estudo, e para esta análise características da cobertura vegetal, uso do solo e variabilidade climática são fatores relevantes. O presente trabalho descreve a utilização de um modelo capaz de simular os fenômenos hidrológicos ocorridos neste local. Para a bacia do Rio Taquari - Antas foi aplicado o MGB-IPH, juntamente com as etapas de calibração e a verificação. Foi necessário o preparo de dados de entrada, com técnicas de geoprocessamento, de postos pluviométricos e fluviométricos, a fim de representar a vazão em diversos pontos da bacia hidrográfica. A partir dos resultados obtidos após aplicação, foi verificado que o modelo hidrológico MGB-IPH representou satisfatoriamente as vazões naturais da bacia hidrológica do Rio Taquari - Antas.

**ABSTRACT** – The watershed basin of the Taquari - Antas River, located in the Northeast of the state of Rio Grande do Sul, covers few plateau regions and the Taquari Valley. With approximately 26 thousand km<sup>2</sup> of drainage area, it has an essential importance considering the economic point of view. In addition to agriculture and livestock, the textile, metallurgical, logging and food industries are the main activities. The analysis of the amount of present and available water in the area encompassing by the watershed basin is fundamental to the study, and the characteristics of the vegetation cover, land use and climatic variability are relevant factors for this analysis. The present work describes the use of a model capable of modulating the hydrological processes occurring in this location. For the Taquari - Antas River basin, the MGB - IPH was applied along with the calibration and verification steps. It was necessary to prepare input data, using geoprocessing techniques, pluviometric and fluviometric data from different stations, in order to represent the flow in many points of the basin. With the results analysis, the hydrological model MGB-IPH was capable of represent successfully the natural flow of the watershed basin of the Taquari-Antas River.

**Palavras-chave:** Bacia, Hidrologia, Modelagem.

### **INTRODUÇÃO**

Situada inteiramente no estado do Rio Grande do Sul (RS), a bacia hidrográfica do Rio Taquari - Antas possui uma rede de drenagem de 26.491,82 km<sup>2</sup> (representando 9% do território estadual) e está localizada entre as coordenadas geográficas de 28°10' a 29°57' de latitude Sul e de 49°56' a 52°38' de longitude Oeste de acordo com o site da Fundação de Proteção Ambiental

Henrique Luiz Rossler (FEPAM). Os principais municípios compreendidos pelos limites da bacia são Antônio Prado, Bento Gonçalves, Cambará do Sul, Caxias do Sul, Estrela, Lajeado e Triunfo, sendo a sua população estimada em 1.207.640 habitantes. As nascentes do Rio Taquari - Antas estão situadas em São José dos Ausentes no extremo leste da bacia, e deságua no Rio Jacuí, sendo caracterizado como um afluente deste último. O Rio das Antas tem 390 km de extensão até a confluência com o Rio Guaporé. À jusante deste ponto até o exutório da bacia é denominado Rio Taquari, cuja extensão é de 140 km, somando assim 530 km de curso principal. Além destes, o Rio Carreiro, o Rio Forqueta, o Rio Forquetinha, o Rio Humatã e o Rio Lajeado Grande são outros importantes cursos d'água desta rede hidrográfica.

Além de ser a região berço da imigração alemã e italiana do RS no século XIX, a bacia do Rio Taquari - Antas tem grande importância econômica para aqueles municípios, visto que a água captada é destinada para abastecimento público, agroindústria, irrigação e dessedentação de animais. Ela está localizada numa região de clima subtropical característico do sul do Brasil, cuja precipitação média anual varia em torno de 1000 mm. A vegetação presente é em grande parte composta por florestas tropicais, características do bioma Mata Atlântica, além de apresentar zonas com gramíneas, típicas do bioma estepe ou mais conhecido por campos do Sul do Brasil. Por fim, a bacia hidrográfica do rio Taquari - Antas entende-se por províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e da Depressão Central, formas que compõem o relevo do estado.

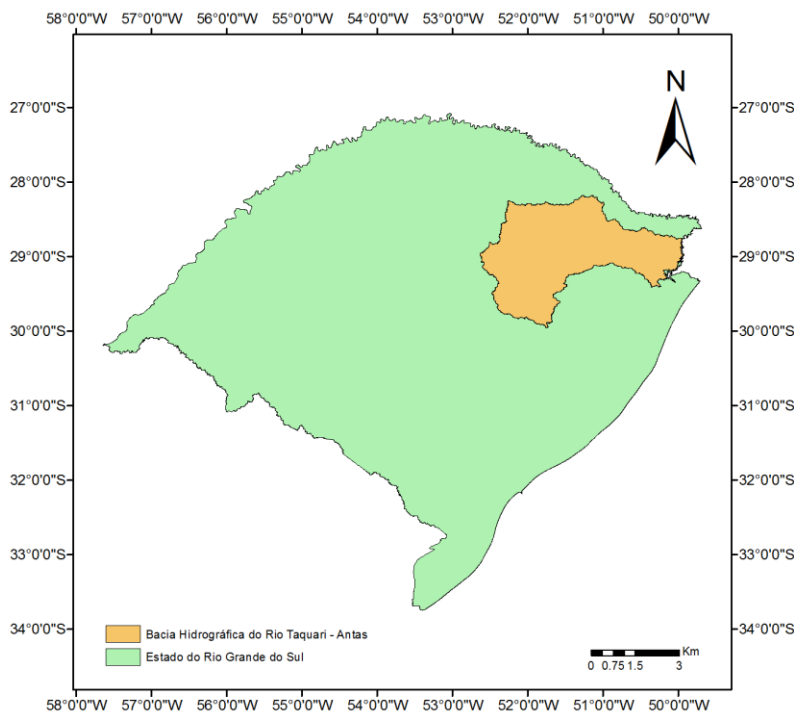


Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari - Antas nos limites do estado do Rio Grande do Sul.

Sendo de extrema importância para o desenvolvimento e planejamento da região, este trabalho é uma proposição para a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH, aplicado para a bacia do Rio Taquari - Antas. Os dados de entrada para a simulação representam dados de chuva e vazão e de clima disponibilizados, respectivamente, pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). De 1995 até 2017 foi o período considerado para a calibração do modelo hidrológico, posteriormente foi considerado de 1960 até 1990 para a verificação dos resultados.

## O MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH

Para a simulação na bacia do Rio Taquari – Antas foi escolhido um modelo hidrológico que já apresentou resultados satisfatórios para projetos anteriores. O MGB-IPH foi desenvolvido para representar as transformações de chuva-vazão para bacias de grande escala por COLLISCHONN *et.al.* (2001).

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: BACIA DO RIO TAQUARI - ANTAS

### Relevo

Para este projeto são necessárias informações do relevo da região como as cotas do terreno, que posteriormente auxiliarão na criação da rede de drenagem da bacia. Esses dados foram obtidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), arquivo raster no qual cada célula possui um valor de cota do terreno para determinada resolução espacial. O MDE foi adquirido de um sistema de radar chamado *SRTM - Shuttle Radar Topography Mission* (FARR *et. al.*, 2007), através do portal (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>). O SRTM é um radar, que a bordo do ônibus espacial *Endeavour* em fevereiro de 2000, recolheu informações sobre o relevo terrestre numa resolução de 90 m na horizontal e de 1 m na vertical.

### Hidrografia

O principal curso d'água é o Rio Taquari - Antas. Da nascente (localizada no município de São José dos Ausentes, RS) até a confluência com o Rio Guaporé, o rio é denominado Rio das Antas com 390 km, após este ponto até a foz no Rio Jacuí é chamado Taquari, cuja extensão é de 140 km. Com arquivos vetoriais da hidrografia brasileira disponibilizados na página da ANA, foram obtidas informações necessárias para a criação da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Taquari – Antas por meio de um pacote de ferramentas *IPH – Hydro tools* (JARDINS *et. al.*, 2007). A partir destas foi feito um recorte no MDE a fim de delimitar o local, retirando áreas que não fazem parte do estudo. Abaixo na Figura 2 pode ser vista a rede de drenagem criada.

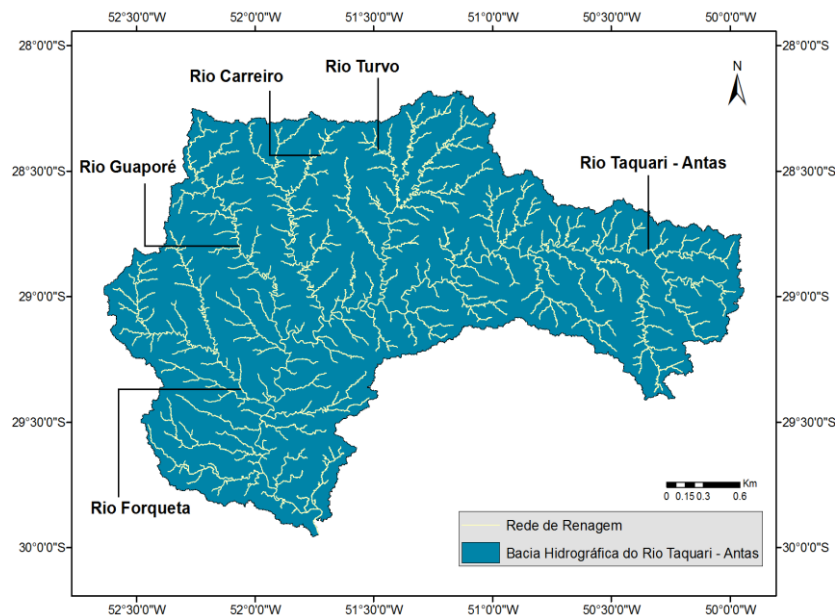


Figura 2 - Rede de Drenagem do Rio Taquari - Antas e seus principais afluentes.

## Unidades de Respostas Hidrológicas

A bacia hidrográfica em estudo é separada em regiões de acordo com suas características relacionadas à vegetação, ao uso e tipo de solo e à geologia. Cada uma destas divisões é chamada de unidade de resposta hidrológica (URH), logo elas respondem da mesma maneira à simulação hidrológica e às respectivas modificações em seus parâmetros. Por meio de um mapa de URHs da América Latina, desenvolvido por FAN *et. al.* (2017), foram obtidas as unidades da região desta bacia hidrográfica.

## DADOS HIDROLÓGICOS

### Dados da ANA

A ANA disponibiliza dados de precipitação e de vazão diários, que podem ser obtidos através do sistema *Hidroweb* (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb>). 139 postos pluviométricos e 16 fluviométricos foram utilizados como dados de entrada para a simulação do modelo MGB-IPH, além disso, é necessário definir um período de análise da calibração dos parâmetros que, neste caso, foi de 1 de janeiro de 1995 até 31 de dezembro de 2017. A verificação destes resultados, ou seja, a validação dos valores estipulados para cada um dos parâmetros foi feita durante o período de 1 de janeiro de 1960 até 31 de dezembro de 1990. Para a escolha destes períodos deve-se analisar o fato de que para cada ano compreendido neste intervalo é necessário que haja pelo menos um posto com dados para a aquisição. Nas Figuras 3 e 4 estão contidas as localizações dos postos pluviométricos e fluviométricos, respectivamente, ao longo da bacia hidrográfica.

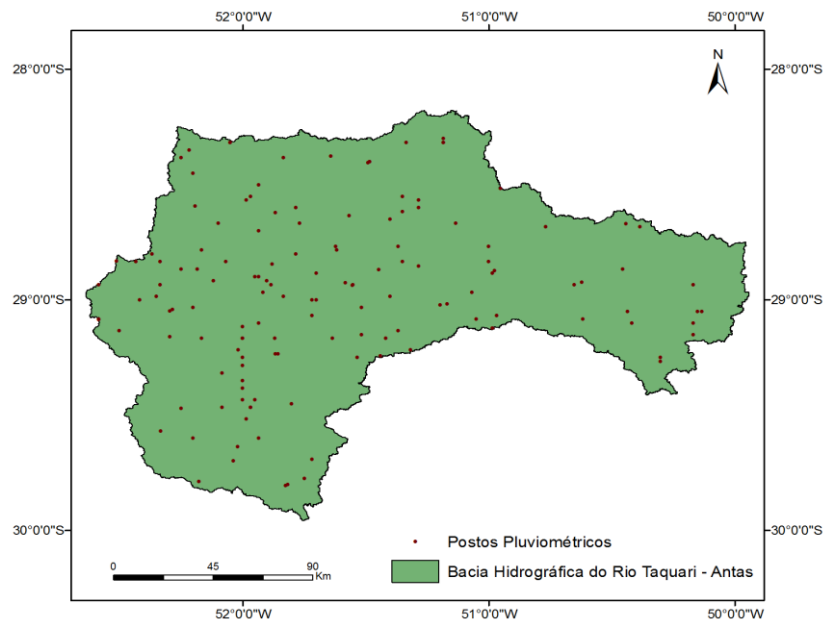


Figura 3- Distribuição espacial dos postos pluviométricos.

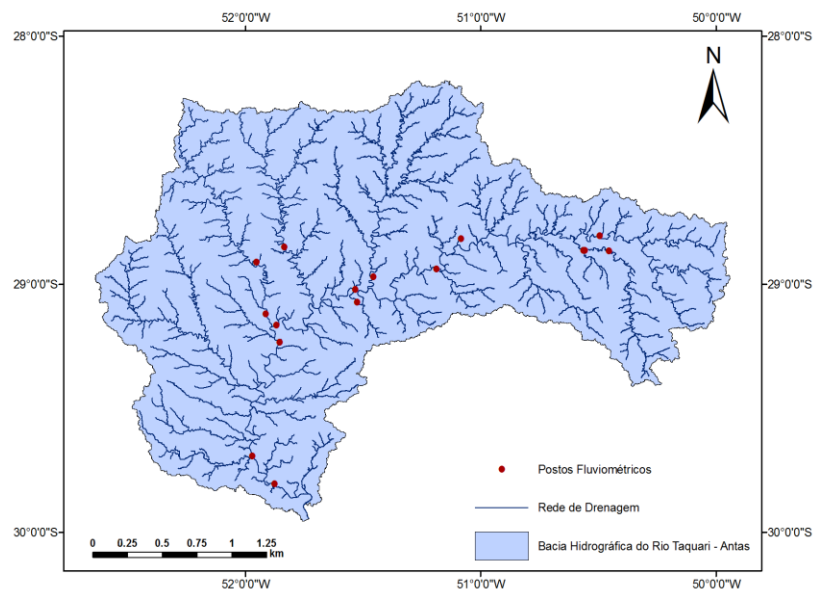


Figura 4- Distribuição espacial dos postos fluviométricos.

## DISCRETIZAÇÃO DA BACIA

Para a simulação no modelo MGB-IPH, é necessário que a discretização da bacia seja feita em minibacias, cuja delimitação é feita a partir de dados de relevo presentes MDE. Estas são englobadas fisicamente em sub-bacias, grandes áreas de drenagem. Abaixo a Tabela 1 demonstra estas subdivisões que são adotadas pelo MGB-IPH.

Tabela 1 - Subdivisões adotadas pelo MGB-IPH.

Unidade	Descrição
Bacia Hidrográfica	Região Hidrográfica de estudo simulada pelo modelo
Sub-Bacia Hidrográfica	Subdivisão da bacia de estudo em grandes áreas de drenagem
Minibacia Hidrográfica	Subdivisão das bacias hidrográficas em pequenas regiões. São formadas pela área de drenagem de cada trecho da hidrografia.

### Trechos de rios e Minibacias

As minibacias foram criadas a partir da contribuição de cada trecho de rio definido pela rede de drenagem gerada. Ao total, 965 minibacias foram produzidas, que podem ser vistas na Figura 5 abaixo.

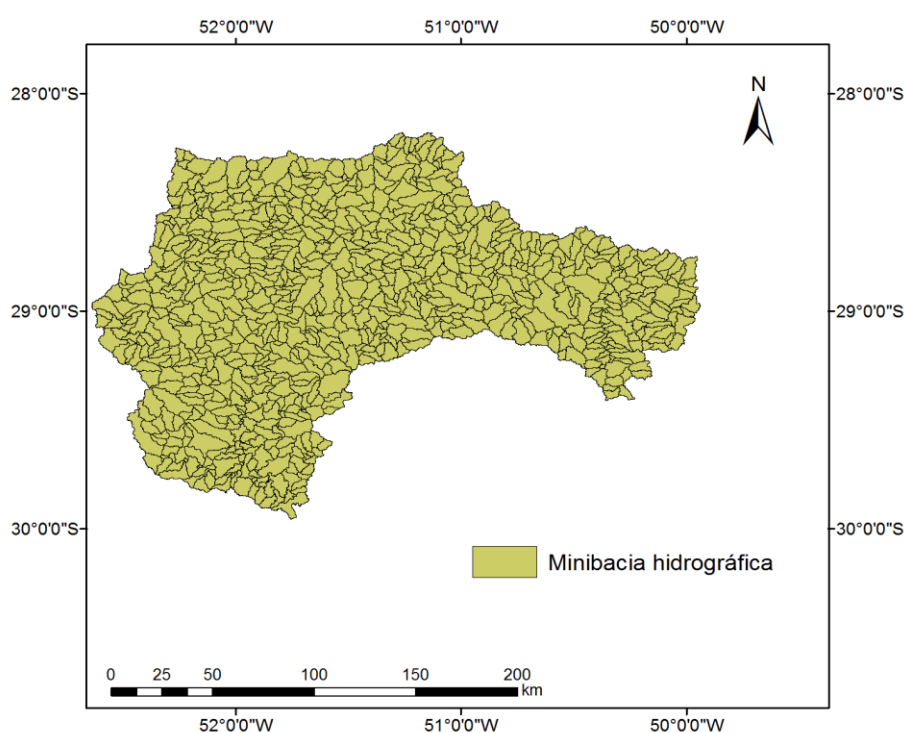


Figura 5 - Delimitação das minibacias hidrográficas.

### Definição das Sub-Bacias

A bacia hidrográfica do Rio Taquari – Antas foi dividida em duas sub-bacias, considerando a altitude do terreno, separando na parte mais alta e na mais baixa. Esta sub-divisão auxilia na calibração, devido à possibilidade dos parâmetros de modelagem variarem de uma sub-bacia para outra, considerando características específicas de cada região.

### CALIBRAÇÃO DO MODELO

As simplificações realizadas pelo modelo e erros associados aos dados de entrada têm como consequência uma discrepância entre os resultados gerados quando comparados aos dados observados para determinado local no mesmo período. Para que a simulação seja considerada útil

essa diferença deve ser a menor possível. Logo para minimizar isso é realizada uma etapa de calibração do modelo pós simulação.

Para avaliar o desempenho da simulação, além de comparar visualmente os hidrogramas gerados e observados, são considerados os seguintes parâmetros na calibração do MGB-IPH: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (E); o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões calculadas e observadas (E\_Log); e o erro relativo de volume total dos hidrogramas ( $\Delta V$ ).

### **Definição dos parâmetros fixos do modelo hidrológico**

Os parâmetros fixos do MGB-IPH estão relacionados com a aspectos da vegetação da região. Albedo, Índice de Área Foliar, Altura Média das Árvores e Resistência Superficial foram elencados e valores para cada um dos parâmetros foram estimados de acordo com a literatura (COLLISCHONN, 2001) e com auxílio do próprio modelo.

### **Definição dos parâmetros calibráveis do modelo hidrológico**

Para cada URH definida em procedimentos anteriores, são elencados valores de acordo com características das localidades, sendo ajustados com auxílio do próprio programa, além de estudos realizados anteriormente (COLLISCHONN, 2001). Estes parâmetros estão relacionados com aspectos do solo, que influenciam diretamente no escoamento superficial e nas taxas de infiltração.

### **Definição dos períodos de calibração e validação do modelo hidrológico**

A calibração e a verificação devem ser realizadas em períodos que não sejam coincidentes com intuito de avaliar se os valores determinados para cada um dos parâmetros se aplicam para diferentes épocas temporais. Para isso é necessário avaliar se, neste caso, o portal da ANA possui dados disponíveis para os postos pluviométricos como para os fluviométricos nos períodos desejados. A definição deve considerar que em todos os anos compreendidos dentro deste intervalo deve haver no mínimo um posto com dados. Ademais para a observação de comportamentos hidrológicos é aconselhável que o período de análise seja de pelo menos 30 anos. Assim o período definido para a calibração foi de 1995 até 2017, enquanto para a verificação foi entre 1960 a 1990.

## **RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO**

Abaixo, na Tabela 2, são listados os valores dos parâmetros de desempenho do modelo dos processos de calibração e verificação. Os postos que não haviam dados disponíveis e/ou falhas foram designados com a abreviatura N.A., referente a terminologia *not available*.

Tabela 2- Resultados da calibração e da verificação do modelo.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	CALIBRAÇÃO			VERIFICAÇÃO		
	E	E_Log	$\Delta V$ (%)	E	E_Log	$\Delta V$ (%)
86100000	N.A.	N.A.	N.A.	0,129	0,446	-4,063
86160000	N.A.	N.A.	N.A.	0,060	0,598	9,790
86500000	0,555	0,550	4,871	0,544	0,615	1,001
86510000	0,108	0,588	19,369	0,565	0,751	7,120
86580000	0,477	0,755	7,811	0,417	0,600	18,084
86720000	0,382	0,762	7,905	0,583	0,770	2,686

Abaixo, nas Figuras 6, 7, 8 e 9, são demonstrados os hidrogramas das vazões de quatro postos durante a calibração e a verificação a fim de comparar os resultados gerados com os valores observados.

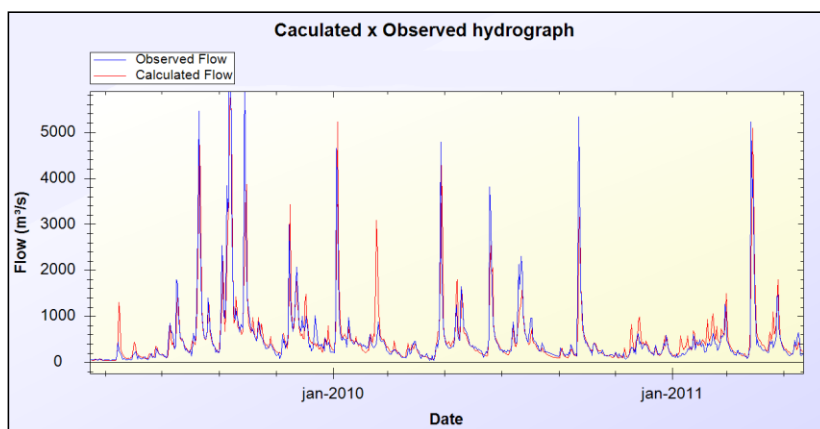


Figura 6 - Calibração do posto 86510000 (Muçum).

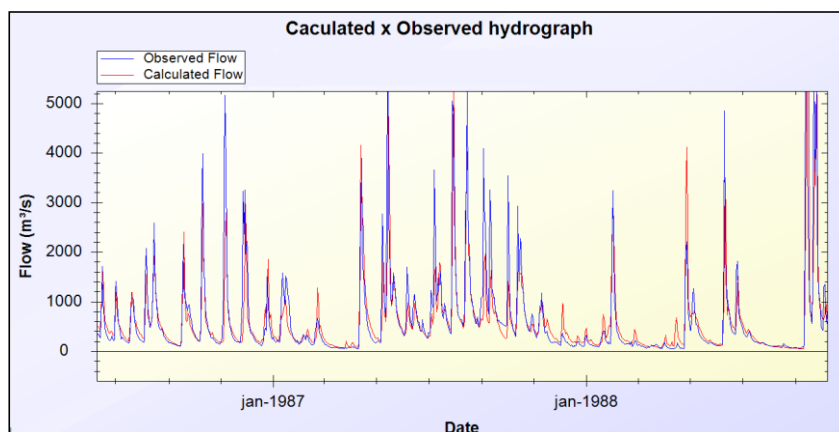


Figura 7 - Verificação do posto 86510000 (Muçum).



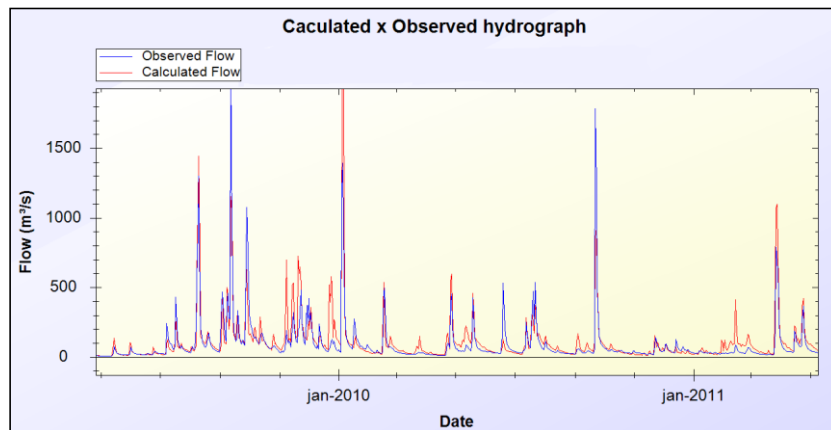


Figura 8 - Calibração do posto 86580000 (Santa Lúcia).

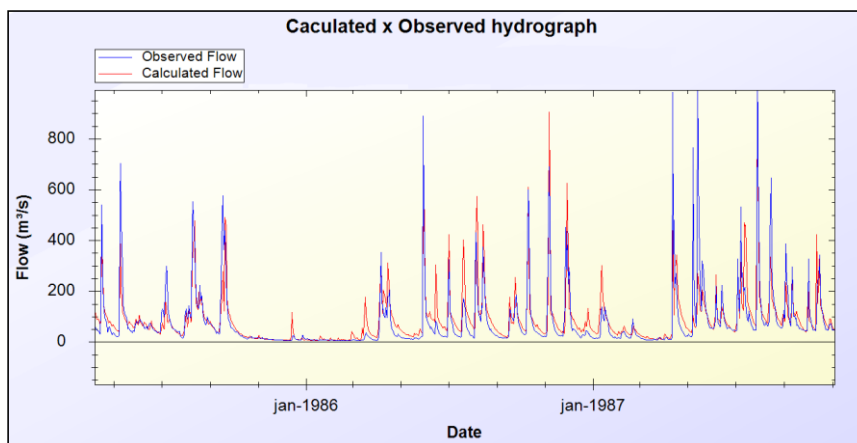


Figura 9 - Verificação do posto 86580000 (Santa Lúcia).

## AVALIAÇÃO DA CALIBRAÇÃO E VERIFICAÇÃO

A fim de avaliar se o modelo é capaz de representar o comportamento da bacia hidrográfica em estudo, é necessário comparar a disponibilidade hídrica simulada com a observada, visando a importância de reproduzir as vazões durante a maior parte do tempo, e não apenas na ocorrência de cheias. Por meio da análise da Tabela 2 que contém os resultados tanto da calibração quanto da verificação, é possível concluir que o modelo hidrológico para a bacia tem um desempenho satisfatório a bom, pois apresenta vários postos com valores dos parâmetros compreendidos em intervalos que representam uma boa eficiência que, segundo MORIASI *et. al.* (2007), são: o coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões e dos logaritmos das vazões acima de 0,5 e o erro relativo de volume estar contido entre  $\pm 25\%$ . Além disso, quando comparados os valores simulados com os dados observados mesmo que de forma qualitativa por meio de hidrogramas, pode-se verificar que o modelo conseguiu representar diferentes momentos durante o período analisado, apresentando apenas alguns desvios.

## CONCLUSÃO

Na tentativa de representar da melhor maneira possível os eventos hidrológicos ocorrentes na região da bacia do Rio Taquari - Antas foi aplicado o modelo MGB - IPH desde as etapas iniciais de processamento dos dados de entrada até a calibração dos parâmetros e a verificação dos resultados. Foi preciso adquirir alguns dados de entrada como de postos pluviométricos e fluviométricos, obtidos do portal *Hidroweb* da ANA, além dos parâmetros fixos para cada tipo de vegetação e os referentes às características do solo que são alterados durante a calibração.

É importante avaliar se os valores calculados pelo modelo não estão muito discrepantes com os observados na realidade para que desta forma seja possível avaliar a eficiência dos cálculos realizados pelo modelo. A calibração foi feita no período de 01/01/1995 até 31/12/2017, já a verificação foi realizada entre 01/01/1960 e 31/12/1990. Para ambos períodos foi obtida uma representação de satisfatória a boa dos acontecimentos hidrológicos, comprovados pelos valores dos parâmetros de desempenho e pela comparação qualitativa dos hidrogramas observados e simulados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLLISCHONN W. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. (2001). 270f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FAN F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. *Um mapa de unidades de resposta hidrológica para América do Sul*. (2017). XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

FARR T. G., CARO E., CRIPPEN R., DUREN R., HENSLEY S., KOBRICK M., PALLER M., RODRIGUEZ E., ROSEN P., ROTH L., SEAL D., SHAFFE R. S., SHIMADA J., UMLAND J., WERNER M., BURBANK D., OSKIN M., ALSDORF D. *The shuttle radar topography mission*. (2007). *Rev. Geophysics*, v. 45, n. 2.

FEPAM. *Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari – Antas*. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/Taquari-Antas/pag11.html>. Acesso em: 19 fev. 2019.

JARDIM P. F., SIQUEIRA V. A., FLEISCHMANN A. S., FAN F. M., COLLISCHONN W. *IPH-Hydro tools: pacote de ferramentas open source de geoprocessamento aplicado a recursos hídricos*. (2015). XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

MORIASI D. N., ARNOLD J. G., VAN LIEW M. W., BINGNER R. L., HARMEL R. D., VEITH T. L. *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*. (2007). American Society of Agricultural and Biological Engineers. pp. 885-900. Universidade de Wisconsin-Madison. Michigan, Estados Unidos da América.