

## MODELAGEM HIDROLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO XINGU

ZANDRA ALMEIDA DA CUNHA<sup>1</sup>; MARCELLE MARTINS VARGAS<sup>2</sup>; MAÍRA MARTIM DE MOURA<sup>3</sup>; SAMUEL BESKOW<sup>4</sup>; CARLOS ROGÉRIO DE MELLO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Discente do PPG Recursos Hídricos / CDTec / UFPEL – [zandraacunha@gmail.com](mailto:zandraacunha@gmail.com);

<sup>2</sup>Discente do PPG Recursos Hídricos / CDTec / UFPEL – [marcellevarg@gmail.com](mailto:marcellevarg@gmail.com);

<sup>3</sup>Discente do PPG Recursos Hídricos / CDTec / UFPEL – [martimdemoura@gmail.com](mailto:martimdemoura@gmail.com);

<sup>4</sup>Docente do PPG Recursos Hídricos / CDTec / UFPEL – [samuel.beskow@ufpel.edu.br](mailto:samuel.beskow@ufpel.edu.br)

<sup>5</sup>Docente do PPG Recursos Hídricos / UFPEL – [crmello@ufla.br](mailto:crmello@ufla.br);

### 1. INTRODUÇÃO

O rio Xingu é um dos principais afluentes da bacia hidrográfica do rio Amazonas. A bacia hidrográfica do rio Xingu (BHRX) abrange boa parte dos estados de Mato Grosso e Pará e possui grande importância no contexto econômico do Brasil. Contudo, o crescente aumento das atividades agropecuárias na região tem levado a um aumento do desmatamento. Nesse sentido, a utilização de modelos hidrológicos torna-se fundamental para avaliar o impacto das mudanças no uso do solo sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (SILVA *et al.*, 2018).

Dentre os modelos hidrológicos existentes, o *Lavras Simulation of Hydrology* (LASH) (VARGAS, 2021) tem se destacado no estudo de bacias hidrográficas sob diferentes condições edafoclimáticas no Brasil (<https://rpubs.com/gphidrologia/baciaslash>). A principal vantagem de utilização do modelo LASH, neste contexto, é a quantidade reduzida de informações de entrada e de parâmetros a serem calibrados.

De acordo com PEREIRA *et al.* (2016), alguns testes são necessários para avaliar os modelos hidrológicos em diferentes aplicações, e. g. o *SplitSample test* e o *Proxy basin test*. No *SplitSample test* o modelo é calibrado com dados de um período temporal e aplicado com os parâmetros calibrados em outro período (validação). O *Proxy basin test* é aplicado para a validação de modelos hidrológicos com calibração e validação em bacias hidrográficas distintas. Desta forma, este teste pode ser usado para estimar uma série temporal de vazões em uma bacia desprovida de monitoramento (PEREIRA *et al.*, 2016).

Frente ao exposto, os objetivos deste estudo foram: i) avaliar o desempenho do modelo LASH em estimar as vazões da BHRX; ii) realizar a validação do modelo LASH, com parâmetros calibrados no exutório da BHRX, na sub-bacia hidrográfica do rio Iriri (BHRI).

### 2. METODOLOGIA

A área da BHRX é de 448.022,80km<sup>2</sup>, delimitada à montante da estação fluviométrica Altamira (18850000) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (Figura 1a). As classes de solos na BHRX são Argissolo (53,1%) e Latossolo (26,4%), Cambissolo (2,7%), Gleissolo (3,2%), Neossolo (10,4%), Nitossolo (2,3%), Organossolo (0,0006%) e Plintossolo (1,8%) (CUNHA, 2021) (Figura 1b). Os usos de solo da bacia são floresta nativa (86,5%), cultivo de soja (0,6%), savana (2,5%), pastagem (9,6%), solo exposto (0,08%), urbanização (0,007%) e corpos d'água (0,8%) (CUNHA, 2021) (Figura 1c).

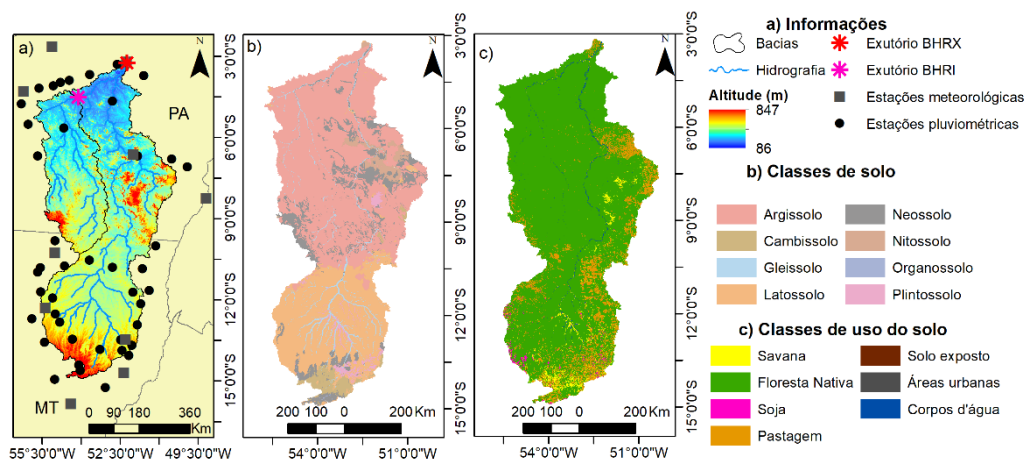


Figura 1 – (a) Relevo e hidrografia da BHRX e estações de monitoramento hidrológico; espacialização das classes de solo e (b) uso do solo na BHRX.

Foi aplicada a 4ª versão do modelo LASH, desenvolvida por VARGAS (2021) em linguagem de programação MATLAB®, a qual utiliza discretização espacial semi-distribuída por sub-bacias e passo diário de simulação. O modelo pode estimar outras variáveis correspondentes aos processos do ciclo hidrológico, tais como, evapotranspiração, escoamento superficial direto, etc., uma vez que o conceito principal por trás do LASH é a equação do balanço hídrico. O método de propagação de vazões implementado nessa versão do LASH consiste do método da Onda Cinemática.

Foram utilizados dados das estações hidrológicas apresentadas na Figura 1a. As séries de vazões obtidas correspondem aos exutórios da BHRX e da BHRI. Foram selecionadas 43 estações pluviométricas e 10 estações meteorológicas, cujas informações obtidas foram chuva, temperatura mínima e máxima, insolação, umidade relativa média e velocidade do vento média. As informações de relevo foram extraídas da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 90m (Figura 1a). Foram levantadas informações na literatura, para cada classe de solo, acerca de profundidade do solo, umidade do solo no ponto de saturação e no ponto de murcha permanente. Para cada uso do solo, foram obtidas informações de índice de área foliar, altura das plantas, resistência estomática e profundidade do sistema radicular. Por fim, foram computadas as informações necessárias no módulo de propagação da onda de cheia nos cursos d'água no ArcGIS (ESRI, 2014) em conjunto com o pacote hidrológico HEC-HMS.

O período de dados empregado para modelagem hidrológica foi de 1995 a 2005. O ano de 1995 foi utilizado como aquecimento do modelo, a fim de suprir as incertezas atreladas às condições hidrológicas iniciais da bacia. A calibração do modelo LASH para a BHRX foi realizada tendo como base o período de 1996 a 2000. O algoritmo de calibração automática utilizado foi o *Shuffled Complex Evolution – University of Arizona* (SCE-UA) (DUAN; SOROOSHIAN; GUPTA, 1992), tendo como função objetivo o coeficiente de Nash- Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970) (NS). A validação do modelo LASH foi realizada para o período de 2001 a 2005. De forma complementar, também foi aplicado o “*Proxy basin test*”, ou seja, a validação do modelo LASH foi realizada no exutório da BHRI, além do exutório da BHRX.

As estatísticas empregadas na análise de calibração e validação foram: o NS esua versão para valores logaritmos (NS<sub>log</sub>), e o coeficiente P<sub>bias</sub> (%). O enquadramento proposto por MORIASI et al. (2007) foi utilizado como base para

o NS,  $NS_{log}$  e  $P_{bias}$ . Ademais, foram avaliadas as correspondências dos hidrogramas estimados frente aos observados, nos exutórios da BHRX e BHRI.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os hidrogramas observados e estimados pelo modelo LASH na BHRX e na BHRI, bem como, as estatísticas de desempenho estão apresentadas na Figura 2. É possível observar que o modelo obteve ótima representação das vazões médias diárias, todavia, ocorreram alguns erros na estimativa dos valores de vazões de pico (Figura 2a). A dificuldade na estimativa das vazões de pico pelos modelos hidrológicos pode ser justificada pela representação espacial da chuva diária e pela confiabilidade da curva-chave no trecho de altas vazões.

Os valores das estatísticas NS e  $NS_{log}$  para a estimativa do hidrograma da BHRX, para a calibração e validação, foram enquadradas como “Muito bom” de acordo com MORIASI et al. (2007). Os valores de  $P_{bias}$  foram enquadrados como “Muito bom” e “Satisfatório” para calibração e validação, respectivamente.

O hidrograma estimado para a BHRI, no período de validação, resultou em boa correspondência com o hidrograma observado (Figura 2b). Novamente, foram observadas sub/superestimativas na estimativa dos extremos. Entretanto, os valores das estatísticas NS e  $NS_{log}$  foram enquadrados como “Muito bom” e o coeficiente  $P_{bias}$  como “Bom”. Além disso, a validação do modelo LASH na BHRI mostrou-se mais eficiente na estimativa de vazões mínimas da bacia, dados os valores de  $NS_{log}$  mais elevados que os de NS.

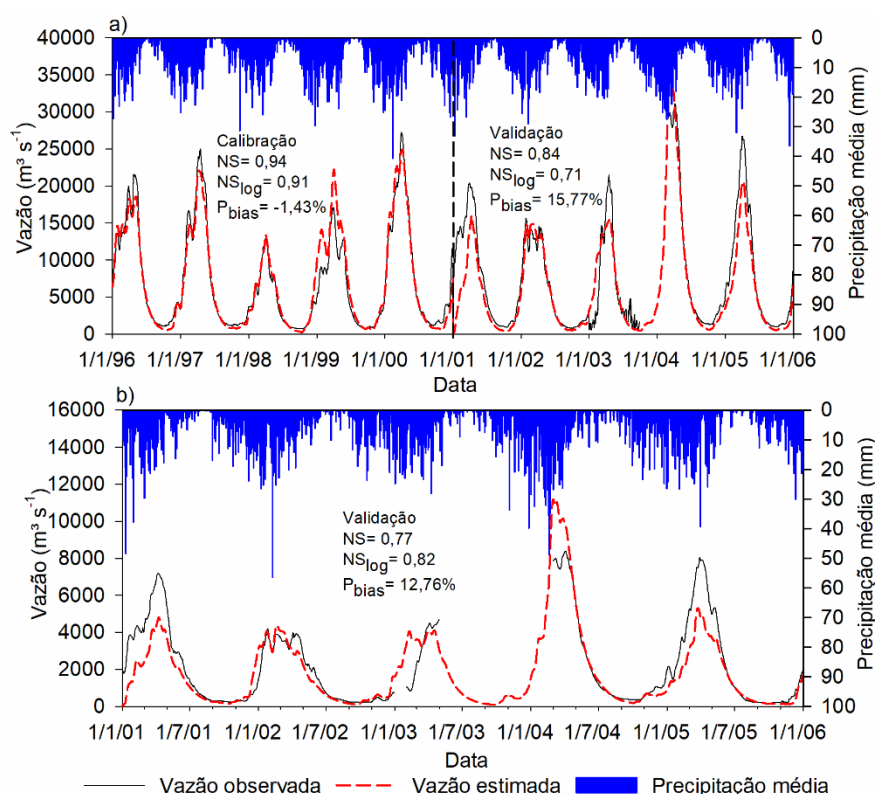


Figura 2 – Estatísticas de desempenho e hidrograma observado e estimado (a) para os períodos de calibração e validação do modelo LASH no exutório da BHRX e (b) para o período de validação no exutório da BHRI.

Alguns autores também avaliaram o desempenho de outros modelos hidrológicos na validação *Proxy basin test*. SILVA et al. (2018), ao aplicar o modelo

SWAT na bacia do baixo-médio São Francisco, realizaram a validação em duas estações à montante, concluindo que o modelo obteve melhor desempenho em representar as vazões mais elevadas. No estudo de PEREIRA et al. (2016), o modelo SWAT foi aplicado na bacia hidrográfica do rio da Pomba, realizando a validação em bacias à montante e a jusante. Os autores também destacaram a influência da baixa representatividade da variabilidade espacial da chuva na estimativa das vazões mais altas.

A validação dos parâmetros calibrados no modelo LASH para a BHRX no exutório da BHRI permitiu identificar que estes foram representativos. Neste sentido, a utilização destes parâmetros em sub-bacias da BHRX, desprovidas de monitoramento hidrológico, pode ser uma alternativa satisfatória no gerenciamento dos recursos hídricos.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados para a calibração e validação do modelo foram considerados muito bons, apesar de alguns erros de estimativa dos valores extremos. Principalmente, ao avaliar a escala da BHRX, a disponibilidade de dados e a diversidade de características da bacia, tais como tipos de solos, vegetação, relevo, clima, etc.

A validação “*Proxy basin test*” também forneceu bons resultados, de modo que os hidrogramas estimados obtiveram boa concordância com os hidrogramas observados. Os resultados indicam que a calibração do modelo LASH é representativa para a BHRX. Espera-se que a utilização dos parâmetros nas sub-bacias BHRX seja satisfatória.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUNHA, Z. A. **Avaliação dos impactos de cenários de mudanças no uso do solo na hidrologia da bacia hidrográfica do rio Xingu**. 2021. 129f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.
- DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models. **Water Resources Research**, v. 28, n. 4, p. 1015-1031, 1992.
- MORIASI, D. N et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Trans. ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. DOI: 10.13031/2013.23153.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-298, 1970. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- PEREIRA et al. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 7, p. 14-37, 2016.
- SILVA, V. P. R. S. et al. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, v. 162, p. 166-176, 2018.
- VARGAS, M. M. **Concepção do modelo hidrológico LASH em MATLAB®**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.