

## COMO ACERTAR PELOS MOTIVOS CERTOS? INTEGRAÇÃO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA-HIDRODINÂMICA E SENSORIAMENTO REMOTO VISANDO A CALIBRAÇÃO DE MODELOS

*Aline Meyer*<sup>1\*</sup> & *Ayan Fleischmann*<sup>2</sup> & *Rodrigo Paiva*<sup>3</sup> & *Walter Collischonn*<sup>4</sup>

**Resumo** - Modelagem hidrológica é uma importante ferramenta na gestão sustentável dos recursos hídricos, mas a acurácia de seus resultados depende da qualidade dos dados de entrada, do processo de calibração e da capacidade do modelo em representar os processos físicos. A integração de modelagem hidrológica com sensoriamento remoto surge como alternativa para a minimização das incertezas associadas aos resultados dos modelos, através das seguintes abordagens: como dados de entrada, validação, calibração e assimilação de dados. O presente objetiva analisar a validação do modelo hidrológico MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Purus, na Amazônia, com séries históricas de produtos de sensoriamento remoto de umidade do solo (SMOS), evapotranspiração (MOD16), altimetria (Jason-2), área inundada (ALOS-PALSAR) e armazenamento de água terrestre (GRACE). Resultados preliminares apontam boa correlação entre o MGB com GRACE (NS = 0.64) e altimetria (NS = 0.80). Séries históricas de umidade do solo e de área inundada apresentaram resultados a serem explorados (NS = 0.44 e NS = 0.55, respectivamente). Séries de evapotranspiração resultaram em correlação insuficiente (NS = -0.98), embora certa sazonalidade tenha sido representada. Estudos futuros visam ampliar o número de regiões analisadas, bem como avaliar a utilização de sensoriamento remoto para calibração do modelo hidrológico.

**Palavras-Chave** – sensoriamento remoto; modelagem hidrológica; Amazônia;

## HOW TO GET RIGHT ANSWERS FOR THE RIGHT REASONS? INTEGRATING HYDRODYNAMIC-HYDROLOGICAL MODELLING AND REMOTE SENSING WITH THE AIM TO CALIBRATE MODELS

**Abstract** - Hydrological modelling is a key tool for a sustainable management of water resources, but the accuracy of its results depends on the quality of input data, on the calibration process and on the capability of the model to represent physical processes. Integrating hydrological modeling and remote sensing products is an alternative to minimize uncertainties associated with the results of the model, by the following approaches: as input data, validation, calibration and data assimilation. The current study aims to analyze the validation of MGB-IPH model in Purus river basin, in Amazon, with time series of remote sensing products of soil moisture (SMOS), evapotranspiration (MOD16), altimetry (Jason-2), inundated area (ALOS-PALSAR) and terrestrial water storage (GRACE). Preliminary results indicate good correlation between MGB and GRACE (NS = 0.64). Time series of soil moisture and inundated area present results to be analyzed (NS = 0.44 and NS = 0.55, respectively). Evapotranspiration series resulted in insufficient correlation (NS = -0.98), though some seasonality has been captured. Future studies aim to analyze more regions, as well as to evaluate the use of remote sensing for calibration of hydrological models.

**Keywords** – remote sensing; hydrological modeling; Amazon;

<sup>1\*</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, alinemey@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, ayan.fleischmann@gmail.com

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, rodrigocpaiva@gmail.com

<sup>4</sup> Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS, collischonn@iph.ufrgs.br

## 1. INTRODUÇÃO

Modelos hidrológicos são ferramentas desenvolvidas para a representação matemática do comportamento de bacias hidrográficas, a fim de prever condições diferentes das observadas. Constituem-se importantes ferramentas para a gestão sustentável de recursos hídricos em regiões com baixa cobertura de medições in-situ, mas a acurácia de seus resultados depende da qualidade dos dados de entrada, da eficácia no processo de calibração (adoção de parâmetros adequados e qualidade dos dados observados), e da capacidade do modelo em representar os processos físicos ocorrentes na bacia hidrográfica.

Collischonn et al. (2007) apresentam o modelo MGB-IPH para simulação hidrológica de grandes bacias hidrográficas, aperfeiçoado por Pontes et al. (2017) através da substituição do método de Muskingum-Cunge pelo método inercial, mais adequado para cálculo de propagação de cheias em rios (Bates et al., 2013). Uma etapa importante na simulação com o MGB-IPH é a calibração, que consiste em um processo iterativo em que os valores dos parâmetros de solo e de vegetação são modificados e seus efeitos nos resultados são avaliados repetidamente, até que o hidrograma calculado reproduza o hidrograma observado com boa precisão (Collischonn et al., 2007). No entanto, essa abordagem é deficiente, haja vista que existem diversos conjuntos de parâmetros que reproduzem bem o hidrograma observado, mas que podem ser conceitualmente absurdos, levando a previsões incorretas.

Nesse sentido, produtos de sensoriamento remoto apresentam-se como alternativas eficazes para a validação de modelos hidrológicos (Alsdorf et al., 2007; Paiva et al., 2013; Rast et al., 2014), de forma a avaliar até que ponto os resultados simulados se aproximam ou não de observações de sensores remotos. Além de validação das simulações, produtos de sensoriamento remoto podem auxiliar na etapa de calibração do modelo, ao possibilitar a adoção de conjuntos de parâmetros fiéis às observações. Apresentam também aplicações em assimilação de dados e como dados de entrada (modelos digitais de elevação, precipitação, mapas de vegetação e de uso e ocupação do solo), cuja qualidade é um dos principais limitantes em modelagem hidrológica, como descrito anteriormente.

O uso de sensoriamento remoto aplicado à hidrologia apresenta como vantagem sua vasta cobertura espacial, mas vem especialmente ganhando destaque nos últimos anos, em função de novas missões que proporcionam produtos em qualidade superior, em termos de resolução espacial e temporal. Missões de sensoriamento remoto como o SRTM (*“Shuttle Radar Topographic Mission”*) apresentam produtos com 90 metros de resolução espacial, bem como o TRMM (*“Tropical Rainfall Measurement Mission”*) apresenta resolução temporal diária. Destacam-se também o uso de produtos do ALOS-PALSAR para estimativas de áreas inundadas (Chapman et al., 2015), do SMOS (*“Soil Moisture and Ocean Salinity”*), lançado em 2009, para umidade do solo, do MODIS (*“Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer”*) para evapotranspiração, o satélite Jason-2 para altimetria, e GRACE (*“Gravity Recovery and Climate Experimental”*) para estimativa de variação no armazenamento de água, a partir de dados de gravimetria.

Considerando as limitações de modelagem hidrológica e a alternativa do uso de produtos de sensoriamento remoto a fim de proporcionar resultados mais acurados, o presente trabalho estuda a integração de sensoriamento remoto e de modelagem hidrológica em dois aspectos: como dados de entrada e como validação. A área analisada é a bacia hidrográfica do rio Purus, na Amazônia, através da integração dos produtos de sensoriamento remoto descritos anteriormente e de simulação hidrológica através do modelo MGB-IPH. O presente estudo de validação constitui-se como etapa preliminar de uma análise da integração de sensoriamento remoto com modelagem hidrológica visando à estimativa de parâmetros mais acurados na etapa de calibração de modelos.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Purus localiza-se na Amazônia, cobrindo uma área de aproximadamente 368000 km<sup>2</sup>. A área de estudo da presente análise se limita a aproximadamente 326000 km<sup>2</sup> dessa bacia hidrográfica, o que corresponde ao trecho que vai da nascente do rio, no Peru, à estação fluviométrica da ANA (Agência Nacional de Águas) Baturité, de código 13910000. É um rio caracterizado por meandros e por planícies de inundação. Um mapa da rede de drenagem é apresentado na Figura 1.

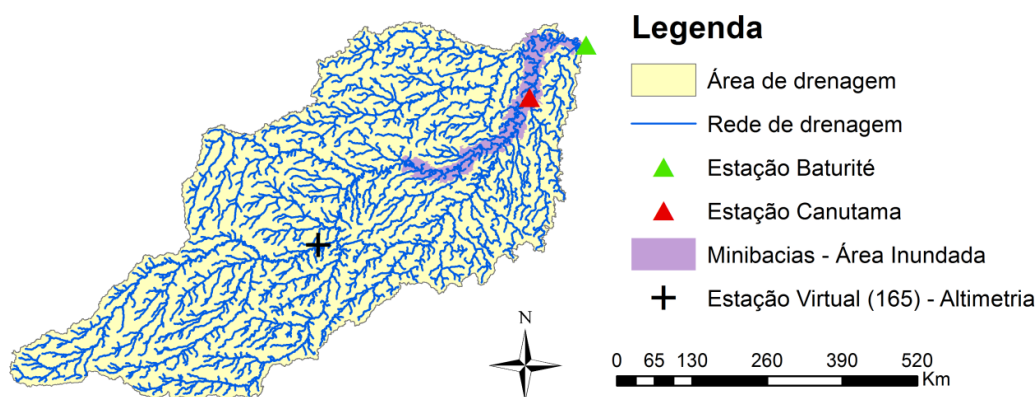


Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Purus delimitada até a estação fluviométrica de Baturité. Localização da estação Canutama, fonte de dados de vazão observados; da estação virtual de órbita 165 do satélite Jason-2, fonte de dados de altimetria; e minibacias compreendidas na estimativa de área inundada.

### 2.2. MGB-IPH

A modelagem hidrológica foi realizada através do Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH (Collischonn et al., 2007; Pontes et al., 2017), em que a bacia hidrográfica é dividida em unidades menores denominadas minibacias, onde são representados os processos de balanço de água no solo, evapotranspiração (equação de Penman-Monteith), escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo, e o escoamento na rede de drenagem em toda a bacia hidrográfica. Cada minibacia tem um trecho de rede de drenagem onde a propagação da vazão em rios é simulada pelo método inercial (aproximação das equações de Saint-Venant).

O período de simulação foi de janeiro de 1988 a janeiro de 2015, com dados de entrada de precipitação diária provenientes da missão TRMM (*"Tropical Rainfall Measurement Mission"*), que foram interpolados pelo método do inverso da potência das distâncias (IDW); dados de clima mensais foram extraídos da base CRU (*"Climate Research Unit"*) e; dados de vazão observada para a estação fluviométrica de Canutama (código 13880000) são fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), para o período de janeiro de 2000 a julho de 2007. A extração da rede de drenagem da bacia hidrográfica se deu a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) Bare Earth SRTM (*"Shuttle Radar Topographic Mission"*), com resolução de 90 metros. As unidades de resposta hidrológica foram delimitadas com base no mapa de unidade de resposta hidrológica para a América do Sul (Fan et al., 2015).

### 2.3. Métricas

Para a comparação quantitativa das séries históricas simuladas e observadas, foram utilizadas métricas comumente utilizadas em estudos hidrológicos, como coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e log-Nash-Sutcliffe (NSlog) (Collischonn et al., 2007).

## 2.4. Validação com produtos de sensoriamento remoto

### a) Altimetria espacial (Jason-2)

O satélite Jason-2 adquire dados de altimetria desde 2008, com resolução temporal de 9.9 dias. Apresenta uma estação virtual no rio Purus, correspondente ao número de órbita 165, localizada nas coordenadas  $-67.666^\circ$  de longitude e  $-8.833^\circ$  de latitude (Figura 01), a aproximadamente 575 km do exutório da bacia hidrográfica considerada (estação Baturité). As séries temporais de altimetria utilizadas são provenientes do Theia Land Data Centre, organização que disponibiliza dados de altimetria processados.

A fim de comparar as séries temporais de altimetria do MGB e do Jason-2, os valores ( $x$ ) foram normalizados através da subtração pela média ( $u$ ), de acordo com a Equação 1.

$$x_N = x - u \quad (1)$$

### b) Área inundada (ALOS-PALSAR)

O radar de abertura sintética PALSAR, a bordo do satélite ALOS, apresenta produtos de 2006 a 2011. Apresenta um ciclo de 46 dias e resolução espacial de 100m, e vem sendo utilizado para monitoramento de planícies de inundação (Chapman et al., 2015). Os produtos utilizados no presente estudo foram disponibilizados pela Alaska SAR Facility (ASF), em nível de processamento 1.5 (o que equivale a correções geométricas e radiométricas). Um filtro mediana 3 x 3 foi aplicado (Lee et al., 2015).

Vinte e uma imagens no período de 2006 a 2010 foram classificadas em duas categorias: (1) água e vegetação inundada e; (2) vegetação não inundada. Duas opções de limiar para a divisão entre vegetação inundada e não inundada foram considerados:  $-4.6$  dB e  $-6.5$  dB (Lee et al., 2015). As minibacias compreendidas na análise de área inundada limitam-se à calha principal do rio Purus, em trecho próximo ao exutório considerado (estação Baturité), e são apresentadas na Figura 1

### c) Umidade do solo (SMOS)

A missão SMOS (“Soil Moisture Ocean Salinity”) oferece produtos de umidade do solo para o globo desde 2009, de onde foi extraída a umidade do solo para a bacia hidrográfica em análise. Produtos de umidade do solo utilizados no presente estudo, em Nível 3 de processamento, com frequência mensal, são disponibilizados pelo Centre Aval de Traitement des Données SMOS (CATDS).

Enquanto o MGB simula a umidade do solo em termos percentuais para a camada de solo, o SMOS apresenta valores absolutos de umidade apenas para os centímetros iniciais dessa camada, com interferências da vegetação, características da atmosfera, rugosidade da superfície, topografia e textura do solo (Colossi et al., 2017). Para a comparação entre as séries do SMOS e do MGB, os valores foram normalizados, conforme já ilustrado na Equação 02.

$$x_N = \frac{x - u}{\sigma} \quad (2)$$

### d) Evapotranspiração (MOD16)

O sensor MODIS (“Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer”) oferece produtos de uso e cobertura da terra, de albedo, de índice de área foliar e de fração de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, que, acoplados com dados meteorológicos de reanálise de radiação solar incidente, pressão do vapor d’água e temperatura do ar, resultam em produtos globais de estimativas de evapotranspiração, em resolução espacial de 1 km, disponibilizados como MOD16 (Mu et al., 2013). O produto mensal do MOD16 foi extraído para a bacia hidrográfica do



rio Purus (até a estação de Baturité), e séries históricas de valores totais de evapotranspiração mensal do MOD16 e do MGB foram comparadas.

### e) Armazenamento de água terrestre (GRACE)

A missão GRACE (“Gravity Recovery and Climate Mission”), lançada em 2002, objetiva medir variações mensais no campo gravitacional terrestre, as quais estão diretamente relacionadas à variação de armazenamento de água no globo (Schmidt et al., 2008). Foram utilizados produtos de 333km de resolução espacial pós-processados pelas agências JPL, GFZ e CSR, extraídos para a bacia hidrográfica de interesse, de anomalias relativas a média histórica de 2004 a 2009 (em milímetros).

A variável de armazenamento de água terrestre extraída do MGB foi calculada através da Equação da Continuidade, considerando que a variação de armazenamento na bacia ( $dS/dt$ ) seja o volume que entra na bacia (I) subtraído do volume efluente (O), mais o volume precipitado (P) menos o volume evapotranspirado (ET) na área de interesse ( $A_d$ ), conforme a equação (3):

$$\frac{dS}{dt} (P - ET) \cdot A_d + I - O \quad (3)$$

Os volumes extraídos do MGB foram subtraídos da média de 2004 a 2009 e divididos pela área da bacia, a fim de comparar as séries históricas em termos de anomalias em milímetros.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as comparações das séries temporais de vazão (Fig. 2a), altimetria (Fig. 2b), área inundada (Fig. 2c), umidade do solo (Fig. 2d), evapotranspiração (Fig. 2e) e armazenamento de água terrestre (Fig 2f), com os valores das respectivas métricas adotadas (coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e log-Nash-Sutcliffe (logNS)).

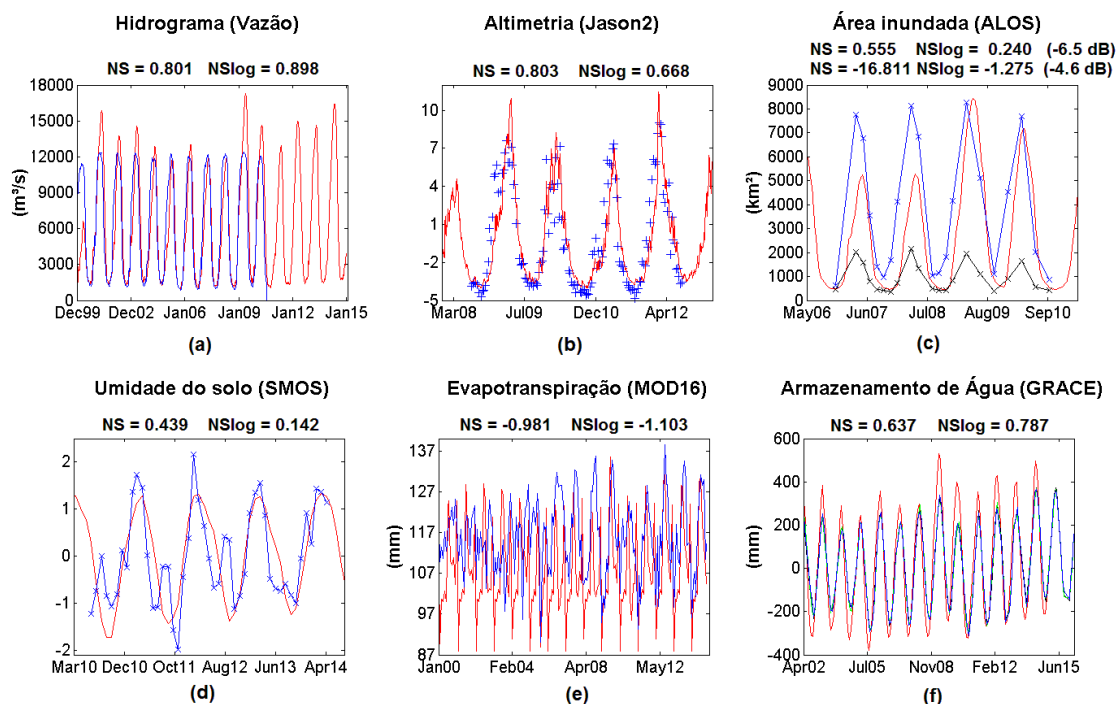


Figura 2 - Séries simuladas pelo modelo MGB-IPH em vermelho, e séries históricas observadas em outras cores: (a) série de vazões observadas na estação Canutama em azul; (b) série de altimetria do satélite Jason-2 na órbita 165 em azul; (c) áreas inundadas extraídas de observações do ALOS-PALSAR, com classificação pelo limiar -6.5 dB em azul, e -4.6 dB em preto; (d) série de umidade do solo do SMOS em azul; (e) série de evapotranspiração do MODIS em azul; (f) séries de gravimetria do GRACE, em azul do produto CSR, em verde do GFZ e em preto do JPL.

A comparação do hidrograma simulado pelo MGB-IPH e do hidrograma observado na estação fluviométrica de Canutama (Fig. 2a) permite observar que os picos estão superestimados e que o comportamento de ascensão do hidrograma não está bem ajustado. No entanto, na recessão os hidrogramas coincidem. Fatores que podem estar relacionados às diferenças nos hidrogramas são a adoção de um único conjunto de parâmetros para a bacia hidrográfica, condições de contorno que não foram consideradas, ou qualidade dos dados de entrada.

Na comparação das séries históricas do Jason-2 e do MGB-IPH (Fig. 2b), para a estação virtual 165 (Figura 1), observa-se certa coincidência entre as séries. Assim como para a vazão, simula picos levemente superestimados. Diferentemente do hidrograma, no entanto, os períodos secos ficaram subestimados, principalmente nos anos de 2010 e de 2011.

A Figura 2c apresenta a comparação das séries históricas de áreas inundadas para as minibacias de interesse (Figura 1). Observa-se que a diferença entre as séries históricas referentes aos limiares de -4.6 dB e -6.5 dB para classificação de áreas inundadas é bastante significativa, na ordem de 6000 km<sup>2</sup>.

Com base no gráfico apresentado, poder-se-ia inferir que o limiar que melhor representa o comportamento simulado pelo MGB é o de -6.5 dB, devido à concordância dos picos dos anos de 2009 e 2010. No entanto, visualizando as séries de vazão para esses mesmos anos, observa-se que esses picos foram superestimados, gerando essa falsa impressão.

A Figura 3 apresenta as áreas inundadas para as minibacias consideradas, simuladas com o MGB-IPH, e derivadas das observações do ALOS-PALSAR, adotando o limiar de -4.6 dB e o de -6.5 dB, para duas datas distintas: 27-set-2007, em período de águas baixas, e 29 de março de 2008, em período de águas altas.

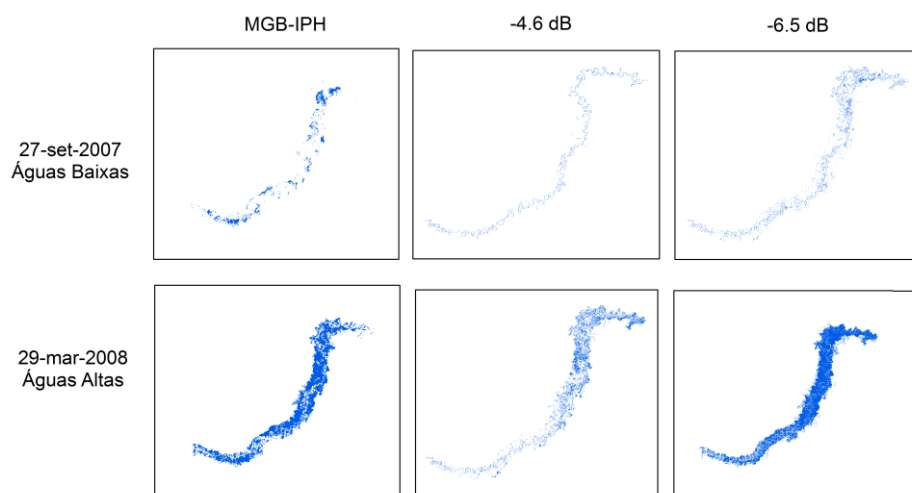


Figura 3 – Áreas inundadas para as minibacias de interesse do estudo, na região do rio Purus, simulado pelo MGB, e provenientes de observação do satélite ALOS-PALSAR com posterior classificação de vegetação inundada com os limiares de -4.6 dB e -6.5 dB, para duas datas distintas, em períodos de águas baixas (27-set-2007) e de águas altas (29-mar-2008).

Na Figura 3, torna-se visível em período de águas altas que o MGB-IPH não considera as margens dos rios como áreas inundadas, o que pode ser explicado pela vegetação presente nessas margens, que interfere no Modelo Digital de Elevação, superestimando as cotas registradas nessas áreas.

Ainda, é possível observar que o MGB-IPH não representa as áreas inundadas na região do exutório da bacia, comportamento que é visível tanto para períodos de águas baixas quanto águas

altas. Essa deficiência se dá em função de que o modelo não está calibrado para as condições de contorno, principalmente relacionadas ao remanso hidráulico proveniente do rio Solimões.

A Figura 2d apresenta a comparação entre as séries históricas de umidade do solo. As séries apresentam certa concordância, de certa forma representando alguma sazonalidade. No entanto, as diferenças nas séries podem estar relacionadas ao SMOS apenas registrar os centímetros iniciais da camada de solo, com interferências da vegetação (Colossi et al., 2017).

A variável de evapotranspiração foi a que apresentou maior discordância entre as séries históricas do MOD16 e do MGB-IPH (Fig. 2e). Esse resultado pode estar associado a deficiências na parametrização da cobertura do solo englobada no algoritmo gerador do MOD16 (Ruhoff et al., 2017).

As séries históricas de armazenamento de água terrestre são comparadas em termos de anomalia, em milímetros por mês, na Figura 2f. Os diferentes produtos do GRACE (CSR, JPL, GFZ) apresentam comportamento praticamente sobreposto. Sendo assim, uma média dos três produtos foi considerada a fim de analisar quantitativamente a diferença entre as observações do GRACE e a simulação do MGB-IPH. Pode-se observar que ascensões e recessões estão bem representadas, mas que o MGB-IPH superestima tanto os picos quanto os vales do gráfico.

Os resultados de validação do modelo MGB-IPH para a região do Purus com observações de sensoriamento remoto foram satisfatórios para altimetria e armazenamento de água terrestre. Resultados insatisfatórios, mas que podem ser melhorados em estudos futuros através da imposição de condições de contorno e da especificação de um maior número de conjuntos de parâmetros, foram encontrados para as variáveis de áreas inundadas e umidade do solo. A evapotranspiração, no entanto, foi a única variável com resultado insatisfatório, mas que é associado a incertezas provenientes do produto MOD16.

É importante ressaltar que os resultados das validações por sensoriamento remoto são diretamente influenciadas pela qualidade do resultado da validação por vazão observada, de onde as séries simuladas para as diferentes variáveis foram derivadas. Sendo assim, as incertezas associadas ao processo de calibração dos hidrogramas simulado e observado foram carregadas para todo o processo de validação com outras variáveis.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a validação do modelo MGB-IPH para a bacia hidrográfica do rio Purus através de produtos de sensoriamento remoto de altimetria espacial (Jason-2) e de armazenamento de água terrestre (GRACE), com os quais as séries temporais simuladas e observadas apresentaram boa correlação, representada por  $NS = 0.8033$  e  $NS = 0.6373$ , respectivamente. A validação do modelo através de produtos de sensoriamento remoto de umidade do solo (SMOS) e de áreas inundadas (ALOS-PALSAR) foi inconclusiva, com correlação entre as séries de  $NS = 0.44$  e  $NS = 0.55$ , respectivamente. No entanto, estudos futuros visam alcançar uma melhor compreensão acerca dos fatores influentes nesses resultados. A validação do modelo através da variável de evapotranspiração apresentou resultados insatisfatórios ( $NS = -0.981$ ), provavelmente relacionados a limitações do produto MOD16.

Estudos futuros visam não apenas melhorar a validação do modelo MGB-IPH para o rio Purus com produtos de sensoriamento remoto, mas também utilizar os produtos de sensoriamento remoto como dados de entrada para a calibração do modelo MGB-IPH, de forma que os parâmetros adotados no processo de calibração assumam valores compatíveis com a realidade e gerem previsões com menos incertezas associadas. Ainda, pretende-se ampliar o número de bacias hidrográficas analisadas.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALSDORF, D. E., RODRIGUEZ, E., LETTENMAIER, D. P. (2007). Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, 45(2).
- BATES, P. D., HORRITT, M. S., FEWTRELL, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*, 387(1), pp. 33-45.
- CHAPMAN, B., MCDONALD, K., SHIMADA, M., ROSENQVIST, A., SCHROEDER, R., HESS, L. (2015). Mapping regional inundation with spaceborne L-band SAR. *Remote Sensing*, 7(5), pp. 5440-5470.
- COLLISCHONN, W., ALLASIA, D., DA SILVA, B. C., TUCCI, C. E. (2007). The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5), pp. 878-895.
- COLOSSI, B., FLEISCHMANN, A., SIQUEIRA, V., BITAR, A. A., PAIVA, R., FAN, F., RUHOFF, A., PONTES, P., COLLISCHONN, W. (2017). Using SMOS for validation and parameter estimation of a large scale hydrological model in Paraná river basin. In *Anais do EGU General Assembly Conference Abstracts*, Viena – Áustria, Abril, 2017.
- FAN, F. M., BUARQUE, D. C., PONTES, P. R. M., COLLISCHONN, W. (2015). Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília – DF, Nov. 2015.
- LEE, H., YUAN, T., JUNG, H. C., BEIGHLEY, E. (2015). Mapping wetland water depths over the central Congo Basin using PALSAR ScanSAR, Envisat altimetry, and MODIS VCF data. *Remote Sensing of Environment*, 159, pp. 70-79.
- MU, Q., ZHAO, M., KIMBALL, J. S., MCDOWELL, N. G., RUNNING, S. W. (2013). A remotely sensed global terrestrial drought severity index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1), pp. 83-98.
- O'LOUGHLIN, F. E., PAIVA, R. C. D., DURAND, M., ALSDORF, D. E., BATES, P. D. (2016). A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. *Remote Sensing of Environment*, 182, pp. 49-59.
- PAIVA, R. C. D., BUARQUE, D. C., COLLISCHONN, W., BONNET, M. P., FRAPPART, F., CALMANT, S., BULHÕES MENDES, C. A. (2013). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. *Water Resources Research*, 49(3), pp. 1226-1243.
- PONTES, P. R. M., FAN, F. M., FLEISCHMANN, A. S., DE PAIVA, R. C. D., BUARQUE, D. C., SIQUEIRA, V. A., JARDIM, P.F., SORRIBAS, M.V., COLLISCHONN, W. (2017). MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, 94, pp. 1-20.
- RAST, M., JOHANNESSEN, J., MAUSER, W. (2014). Review of understanding of Earth's hydrological cycle: Observations, theory and modelling. *Surveys in Geophysics*, 35(3), pp. 491-513.
- RUHOFF, A., APARECIDA MOREIRA, A., DE ARRUDA SOUZA, V., ROBERTI, D. R. (2017). Monitoring cropland evapotranspiration using MODIS products in Southern Brazil. In *Anais do EGU General Assembly Conference Abstracts*, Viena – Áustria, Abril, 2017.
- SCHMIDT, R., FLECHTNER, F., MEYER, U., NEUMAYER, K. H., DAHLE, C., KÖNIG, R., KUSCHE, J. (2008). Hydrological signals observed by the GRACE satellites. *Surveys in Geophysics*, 29(4-5), pp. 319-334.