

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

# BALANÇO HÍDRICO E EVENTOS EXTREMOS NA AMÉRICA DO SUL MEDIANTE ACOPLAMENTO ENTRE MODELO DE ESCOAMENTO HYMAP E MODELOS DE SUPERFÍCIE NOAH-MP E CLSM

*Luiz Filipe Costa da Silva<sup>1</sup>; Augusto Getirana<sup>2</sup>; Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>3</sup> & Luis Gustavo  
Goncalves de Goncalves<sup>4</sup>*

**RESUMO** – O presente trabalho propõe-se a avaliar a estimativa do balanço hídrico continental na América do Sul simulado pelos modelos de superfície Noah-MP e CLSM acoplados ao modelo de escoamento HyMAP, com especial atenção aos eventos extremos de secas e inundações. Para atingir o objetivo concebido, foram analisadas séries simuladas e observadas de vazão e de armazenamento de água nos continentes com base em três (3) testes estatísticos, a saber: raiz do erro quadrático médio (RMSE), coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e coeficiente de Kling-Gupta (KGE). Mais especificamente, foram empregadas, como referência, observações diárias de vazão mantidas pelo *Ground Runoff Data Center* (GRDC) e estimativas mensais de armazenamento de água da missão *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) da NASA. Os resultados apontam que a simulações de balanço hídrico têm boa representatividade nas grandes bacias da América do Sul, principalmente na bacia do rio Parnaíba. Com relação às vazões estimadas pelo modelo hidrológico, há uma dificuldade maior de representação dos postos da América do Sul, com os melhores resultados sendo encontrados na região Amazônica. Os resultados apresentados, neste trabalho, servirão de referência para a segunda fase do Sistema de Assimilação de Dados de Superfície Continental para a América do Sul (South America Land Data Assimilation System - SALDAS-2).

**ABSTRACT** – This work intends to evaluate the continental water balance in South America simulated by the Noah-MP and CLSM surface models coupled to the HyMAP flow model. To fulfill such objective, streamflow and terrestrial water storage (TWS) simulations were evaluated against observed datasets using three (3) statistical tests as follows: the root mean square error (RMSE), the Nash-Sutcliffe coefficient (NS) and the Kling-Gupta (KGE) coefficient. More specifically, daily streamflow observations maintained by the Ground Runoff Data Center (GRDC) and monthly TWS estimates derived from the NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) mission were used as reference. The results indicate that the water balance simulations have a good representation over large South American river basins, in particular, in the Parnaíba River basin. Regarding the streamflow simulations, there is a greater difficulty in representing the stations in South America, with the best performance found in the Amazon region. The results presented in this paper will serve as benchmark for the second phase of the South America Land Data Assimilation System (SALDAS-2).

1) Estudante do Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LABH20), Av. Horácio Macedo, 2030 - Centro de Tecnologia - Bloco B – Sala 101, Cidade Universitária, Rio de Janeiro,+552139388462, luiz.f.c.silva@gmail.com

2) Hydrological Sciences Laboratory, NASA Goddard Space Flight Center, 8800 Greenbelt road, 20771, MD, EUA/ ESSIC, 5825 University Research Court suite 4001, College Park, MD, EUA, augusto.getirana@nasa.gov

3) Professor do Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (LABH20), Av. Horácio Macedo, 2030 - Centro de Tecnologia - Bloco B – Sala 101, Cidade Universitária, Rio de Janeiro,+552139388462, otto@coc.ufrj.br

4) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, SP, gustavo.goncalves@cptec.inpe.br

Palavras-Chave – Balanço hídrico continental; Modelagem hidrológica; América do Sul

## INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica constitui suporte para estimativa da variabilidade do armazenamento e fluxos de água. Apesar das limitações das redes observacionais, o avanço em geotecnologias, notadamente, mediante integração de dados satelitais a modelos computacionais, tem possibilitado o avanço em diversos projetos internacionais como o *National Climate Assessment Land Data Assimilation System* (NCA-LDAS) (Kumar *et al.*, 2018), o *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS) (Rodell *et al.*, 2004), entre outros. Modelos de superfície (land surface models – LSMs) foram desenvolvidos para fornecer condições de contorno da superfície para modelos atmosféricos, com enfoque em fluxos verticais de calor e água (Balsamo *et al.*, 2009). Os fluxos verticais de água estimados pelos LSMs, em particular, os escoamentos hídricos superficiais e subterrâneos, são acoplados de forma *off-line* a modelos globais de escoamento de rios projetados para o transporte de água em redes de drenagem (Decharme *et al.*, 2008; Getirana *et al.*, 2012). Assim, a transferência dos fluxos verticais, tanto de água quanto de energia, é realizada por LSMs, enquanto a transferência lateral de água é realizada por modelos de escoamento.

A estimativa de vazões confiáveis e dos fluxos hidrológicos tem sido um desafio para a gestão de recursos hídricos de bacias regionais, nacionais e transnacionais. O conhecimento e a previsão do ciclo de água nos continentes são fatores de interesse para o gerenciamento hídrico, seja para a produção de energia por usinas hidroelétricas, responsáveis por 67,5% da produção de energia do Brasil (portal do ONS, 2018), seja para apoio e desenvolvimento da indústria agrícola, ou mesmo para monitoramento e acompanhamento de desastres naturais como secas e enchentes. A identificação de modelos adequados para a previsão de vazões diárias para reservatórios de energia hidrelétrica é um pré-requisito essencial para a gestão efetiva do reservatório. Os modelos de escoamento e os modelos de superfície terrestre são uma solução possível para simular o ciclo de água terrestre na escala continental. Diante dos desafios supramencionados, objetivou-se avaliar o desempenho da estimativa de balanço hídrico para a América do Sul, com enfoque na detecção de eventos extremos, utilizando-se modelos hidrológicos globais. O trabalho perfaz uma análise geral do balanço hídrico estimado pelos modelos em comparação com dados dos satélites gravimétricos da missão *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE) da NASA (Tapley *et al.*, 2004). Adicionalmente, foi realizada uma análise da vazão simulada em comparação com os dados observados mantidos pelo *Ground Runoff Data Center* (GRDC). Por fim, foram realizados testes de detecção de eventos extremos (secas e cheias) de maneira que fosse avaliada a capacidade dos modelos empregados em estimar vazões para períodos críticos.

## Área de Estudo

A América do Sul é uma das regiões mais abundantes em água doce da Terra, contribuindo com cerca de 30% do escoamento global para os oceanos e abrigando seis das dez maiores bacias do mundo em termos de descarga média anual, (Latrubesse *et al.*, 2005). De acordo com as classificações da FAO e da Agência Nacional de Águas (ANA), o continente é dividido em 25 bacias hidrográficas, com as maiores, Amazonas, La Plata e Orinoco, compartilhando grande parte de sua água entre diferentes países. Para o presente trabalho, foram escolhidas, como objeto de estudo, as nove (9) maiores bacias hidrográficas da América do Sul no que concerne à área de drenagem, sendo elas: Amazonas; Tocantins-Araguaia; Parnaíba; Paraná; Magdalena; Colorado; Uruguai; São Francisco; e Orinoco.

## METODOLOGIA

### Ferramentas e dados

No trabalho, foram utilizados os conjuntos de dados do *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications*, versão 2 (MERRA-2) (Reichle *et al.*, 2017) da NASA, abrangendo os anos de 2002 a 2017, como forçantes meteorológicas para os modelos de superfície Noah-MP (Niu *et al.*, 2011) e *Catchment Land Surface Model* (CLSM) (Koster *et al.*, 2000). Além disso, foram utilizados, para validação do balanço hídrico, os dados da missão GRACE, enquanto, para validação das estimativas de vazão, foram empregados dados diários de vazão do GRDC de 396 estações distribuídas na América do Sul. O Noah-MP possui opções multiparamétricas, derivado do modelo Noah v3.3. Como na maioria dos LSMs, ambos os modelos mantêm a energia superficial e o balanço hídrico simulando evaporação direta do solo, transpiração da vegetação, sublimação de neve e estimando os principais prognósticos de energia superficial e umidade, como a temperatura da superfície terrestre, neve, umidade do solo e temperatura do solo. O *Hydrological Modeling and Analysis Platform* (HyMAP) (Getirana *et al.*, 2012; Getirana *et al.*, 2017) é um modelo de escoamento de escala global capaz de simular a dinâmica do fluxo em ambos os rios e planícies de inundação em qualquer resolução espacial, utilizando duas formulações diferentes, derivadas da equação da quantidade de movimento de Saint Venant: a equação da onda cinemática e a formulação da inércia local. Dentre as variáveis simuladas pelo HyMAP, tem-se vazão, velocidade de escoamento, nível e armazenamento de água em ambos rios e planícies de inundação. O GRDC é um arquivo internacional de dados e promove estudos hidrológicos multinacionais e globais de longo prazo, contendo uma coleção exclusiva de dados de descarga de rios coletados em intervalos diários ou mensais de mais de 9.500 estações em 160 países ([http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage\\_node.html](http://www.bafg.de/GRDC/EN/Home/homepage_node.html)). A missão *satelital GRACE*, por sua vez, objetivou mapear o campo de gravidade global com uma resolução espacial de 400 km a cada trinta dias (Tapley *et al.*, 2004). Ela foi lançada em 17 de março de 2002, com uma vida útil de 5

anos, mas ainda está em operação (Watkins e Bettadpur, 2000; Tapley e Reigber, 2001). O produto utilizado da missão GRACE é o armazenamento de água nos continentes (*terrestrial water storage - TWS*), derivado da medida da variação dos campos gravitacionais. O TWS derivado dos modelos corresponde à soma dos armazenamentos de água na superfície, simulado pelo HyMAP, umidade do solo, água subterrânea e neve, simulados pelos modelos de superfície.

### Avaliação de simulações

Os dados de escoamento superficial simulados pelo HyMAP foram comparados com os dados de vazão do GRDC. Foram efetuadas comparações entre os dados diários e extraídas as médias mensais. Foram empregados três testes estatísticos: raiz do erro quadrático médio (RMSE), coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e coeficiente de Kling-Gupta (KGE).

O RMSE é o desvio padrão dos resíduos de previsão dado por

$$RMSE = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(X_i - O_i)^2}{N}} \quad (1)$$

onde  $X$  é o valor simulado,  $O$  é o valor observado, e  $N$  é o tamanho da amostra.

O coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS) (Nash e Sutcliffe, 1970) é definido na forma

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

onde  $X$  é o valor simulado,  $O$  é o valor observado e  $\bar{O}$  é o valor médio observado.

O teste de eficiência de Kling-Gupta (KGE) é uma reformulação do teste de Nash Sutcliffe conforme expressão

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (3)$$

onde  $r$  é a correlação,  $\alpha$  é a taxa entre o desvio padrão das séries observada e simulada, representando a variabilidade (Equação 4), enquanto  $\beta$  é a taxa entre a média simulada e a média observada, indicando o viés (Equação 5), conforme expressões dadas para  $\alpha$  e  $\beta$  como

$$\alpha = \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad (5)$$

Os valores ideais para  $r$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  e KGE constituem aqueles em que se atribui o valor um (1). KGE é uma função de fase (representado pelo  $r$ ), da amplitude (representado pelo  $\beta$ ) e da medida de posição (representado pelo  $\alpha$ ).

Simulações de armazenamento de água nos continentes foram avaliadas utilizando os mesmos índices estatísticos das avaliações das simulações de vazão. No entanto, como foram avaliadas as anomalias de TWS, para o teste KGE, o termo de média ( $\beta$ ) foi negligenciado.

## RESULTADOS

A Figura 1 mostra resultados para os testes estatísticos de avaliação de anomalia de TWS para cada uma das nove bacias estudadas. Destaca-se que a maior parte das estações apresentou resultados bons de KGE (Figura 1a), com valores médios acima de 0,5 para todas as simulações. No entanto, as bacias dos rios Colorado e Magdalena apresentaram resultados menos satisfatórios, com valores das simulações em torno de 0,1 e 0,3, respectivamente. O melhor resultado observado foi na bacia do rio Parnaíba, aonde as simulações com o CLSM chegaram ao valor de 0,82. De maneira geral, o TWS simulado pelo Noah-MP apresentou os melhores resultados para o teste de KGE na estimativa do balanço hídrico. A Figura 1b apresenta os resultados para o teste de Nash-Sutcliffe realizado nas séries simulada e observada. Os resultados mostram-se bons para a maior parte das bacias, em concordância com o que foi observado no teste de KGE, com valores acima de 0,6. Novamente, as bacias dos rios Colorado e Magdalena obtiveram o pior resultado, com o valor para NS na bacia do rio Magdalena chegando a -0,65 na simulação do CLSM. A bacia do rio Amazonas foi a que apresentou o maior valor absoluto para NS e houve pequena diferença entre todas as simulações.

Com relação ao RMSE, destacado na Figura 1c, observa-se que o erro variou entre 4 cm e 8 cm na maioria das bacias analisadas, sendo considerados valores baixos a médios. Os maiores valores de RMSE foram encontrados para as bacias dos rios Orinoco, Colorado e Magdalena, chegando a 13,31 cm na bacia do rio Magdalena para a simulação com o Noah-MP, reconhecido como um valor alto. As bacias dos rios Uruguai e do Paraná foram as que apresentaram os menores valores de RMSE, em torno de 4 cm e 5cm (respectivamente). Assim como na análise dos resultados para o teste de NS, observa-se uma pequena diferença entre os resultados das curvas simuladas, no entanto, para as bacias dos rios Paraná e Parnaíba, a simulação de TWS do CLSM foi a que apresentou o melhor resultado.

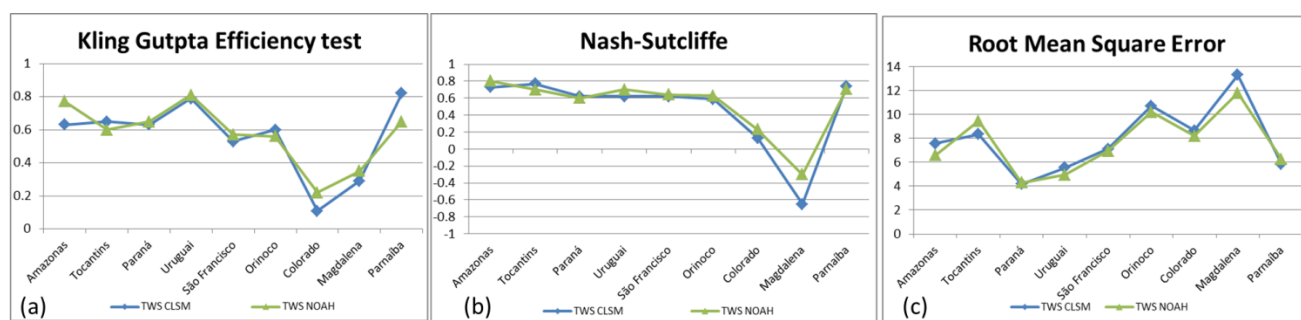


Figura 1 - Testes estatísticos para avaliação de balanço hídrico – (a) KGE; (b) NS; (c) RMSE.

Para uma análise mais subjetiva e descritiva dos resultados no que concerne à estimativa de balanço hídrico, destacam-se, na Figura 2, as séries temporais das curvas simuladas e observadas, para quatro bacias estudadas, a saber: Parnaíba, Paraná, São Francisco e Uruguai. As quatro (4) bacias foram selecionadas devido ao impacto da seca no período de 2012 e 2015 que atingiu as regiões sudeste e nordeste do Brasil (bacias dos rios São Francisco e Parnaíba) e a eventual

elevação da quantidade de armazenamento de água no sul do Brasil (bacias dos rios Paraná e Uruguai) em decorrência dessa seca (Getirana, 2016).

Nas Figuras 2a e 2b, ressaltam-se as anomalias negativas de armazenamento terrestre de água estimada pelo GRACE a partir de 2014. Na bacia do rio Parnaíba (Figura 2a), as curvas simuladas representam bem essa queda nas anomalias, ainda que os valores mínimos absolutos não sejam coincidentes. Já para a bacia do rio São Francisco, os valores são superestimados em comparação com os dados estimados pelo GRACE, indicando uma dificuldade na representação da severidade do evento na região. Com relação às Figuras 2c e 2d, observa-se que as simulações com o modelo Noah-MP representaram de forma satisfatória a curva ascendente de anomalias, a partir de 2014, para a bacia do rio Uruguai, sendo a simulação com o modelo CLSM uma representação melhor do que a representação do modelo Noah-MP. No entanto, para a bacia do rio Paraná (Figura 2d), existe uma diferença muito sutil entre os dados simulados pelo modelo Noah-MP e pelo modelo CLSM, onde ambos os modelos apresentaram dificuldade em representar o período cheio do final da série GRACE.

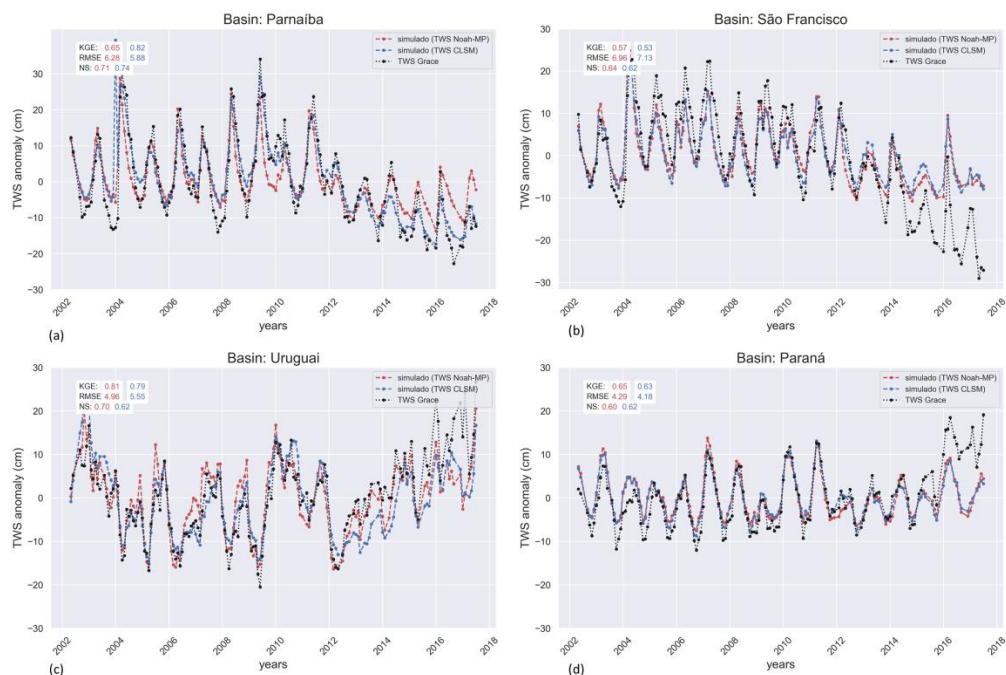


Figura 2 - Séries de armazenamento de água terrestre de água (GRACE x Noah-MP x CLSM).

Por meio da Figura 3, é possível verificar os valores de eficiência do teste de KGE e NS para as simulações de vazão do modelo hidrológico HyMAP com as saídas dos modelos Noah-MP (Figuras 3a e 3b) e com as saídas do modelo CLSM (Figura 3c e 3d) comparadas com os dados observados das estações do GRDC para a região da América do Sul no período compreendido entre 2001 e 2017. Através da Figura 3, é possível observar quatro (4) regiões homogêneas com valores de KGE e NS, presentes em todas as simulações. A primeira está localizada na região Amazônica (retângulo verde), onde foram encontrados valores de KGE variando entre 0,6 e 0,9 nas simulações

com o Noah-MP (Figura 3a), o que indica uma boa correlação entre os dados analisados. Já para o modelo CLSM (Figura 3c), a mesma região apresentou valores de KGE variando entre 0,1 e 0,5, um resultado mais pobre do que foi exibido pelo modelo Noah-MP. A segunda região homogênea identificada encontra-se entre as regiões norte e nordeste do Brasil (retângulo laranja). Nessa região, foram identificados valores negativos de KGE para a simulação realizada com o Noah-MP, caracterizando uma pobre correlação entre os dados simulados e observados. No entanto, quando se analisam os valores encontrados para a simulação com o CLSM na mesma região, verifica-se que os valores foram maiores, próximos a zero. Já na terceira região identificada (retângulo roxo), valores de KGE entre 0 e -0,25 foram observados nas simulações com o Noah-MP e valores entre 0 e 0,25 nas simulações com o CLSM, ambos indicando uma relação fraca entre os dados observados e simulados. Por fim, identificou-se a quarta região (retângulo Azul) com valores de KGE para a simulação com o Noah-MP variando entre 0,25 e 0,7 indicando uma boa correlação entre os dados. Com relação ao resultado do teste de KGE para a simulação com o CLSM, foram encontrados valores entre 0 e 0,5, apresentando uma correlação baixa, mas aceitável.

Através das Figuras 3b e 3d, pode-se verificar os valores do teste de eficiência de Nash-Sutcliffe para o modelo HyMAP com a saída dos modelos Noah-MP e CLSM, respectivamente. De maneira geral, os valores do teste de NS foram menores do que os valores encontrados no teste de KGE em todas as regiões, em ambos os modelos. Na região 1, os valores de NS variaram entre -1 e 0,6 para a simulação com o Noah-MP (Figura 3b), apresentando além de valores máximos mais baixos, uma heterogeneidade maior e amplitude entre extremos também maior. Já para a simulação com o CLSM, os valores ficaram majoritariamente abaixo de zero, apresentando uma correlação bem pobre. Na região 2, verificam-se valores próximos a -1 nas duas simulações, indicando que, pelo teste de NS, a região é de difícil representatividade. Na região 3, os valores ficaram próximos a zero em ambas as simulações, também indicando correlação pobre. Na região 4, com a simulação do Noah MP (Figura 3b), os valores observados variaram entre 0,25 e 0,6. Já com o modelo CLSM (Figura 3d), essa correlação não é tão boa, apresentando valores entre -1 e 0, assim como na região 1.

Além dos testes estatísticos de RMSE, NS e KGE, também foram realizados testes de probabilidade de detecção (PD) e taxa de alarme falso (TAR), aplicados a todas as estações do GRDC utilizadas para estimativa de vazão, com base em tabelas de contingência para dois tipos de fenômenos de interesse, sendo eles: possibilidade de ocorrência de cheia (aqui descrita como valores acima do percentil de 90% da curva de dados observados); possibilidade de ocorrência de seca (aqui descrita como valores abaixo do percentil de 10%).

Nos resultados obtidos para seca e para cheia, destaca-se que o desempenho dos modelos é bastante heterogêneo. Para eventos de cheia, destaca-se que, em ambos os modelos (Figuras 4c e 4d),

a dispersão foi bastante alta, não tendo homogeneidade na representação das estações espalhadas na América do Sul, apresentando resultados pontuais bons (baixo TAR e alto PD) assim como ruins (alto TAR e baixo PD) em igual proporção. Com relação à estimativa de seca os resultados do modelo Noah-MP (Figura 4a) apresentam grande dispersão, mantendo padrão semelhante ao observado nos resultados de estimativa de cheia. Já nos resultados do modelo CLSM (Figura 4b) destaca-se uma concentração com valores altos de TAR, ainda que haja uma alta dispersão para os valores de PD, ressaltando maior alarme falso sistemático estimado pelo CLSM em comparação ao Noah-MP.

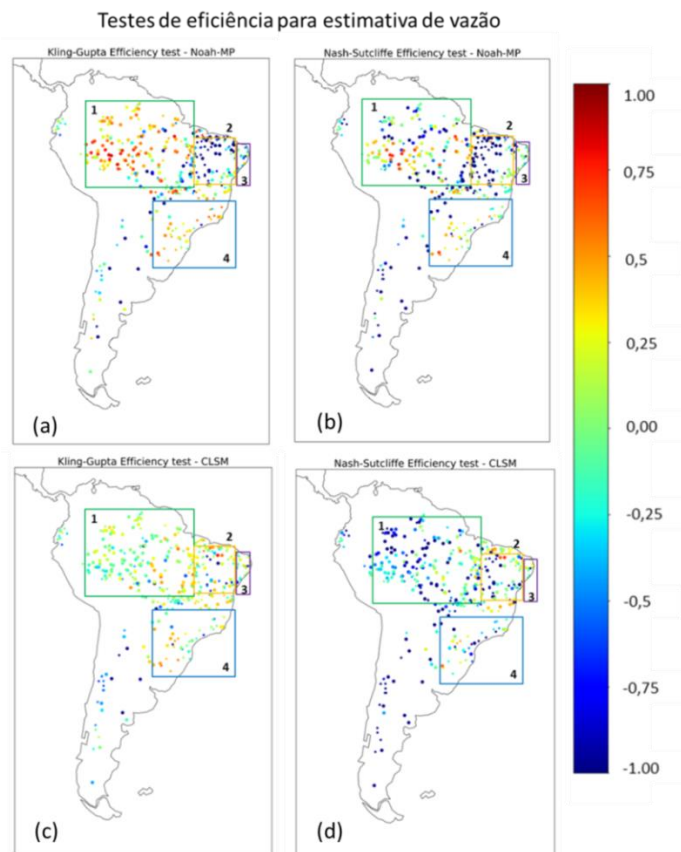


Figura 3 - Testes estatísticos para as séries de vazão: a – KGE Noah-MP; b – NS Noah-MP; c – KGE CLSM; d – NS CLSM. Quadrados de 1 a 4 são regiões com valores homogêneos para os resultados dos testes estatísticos.

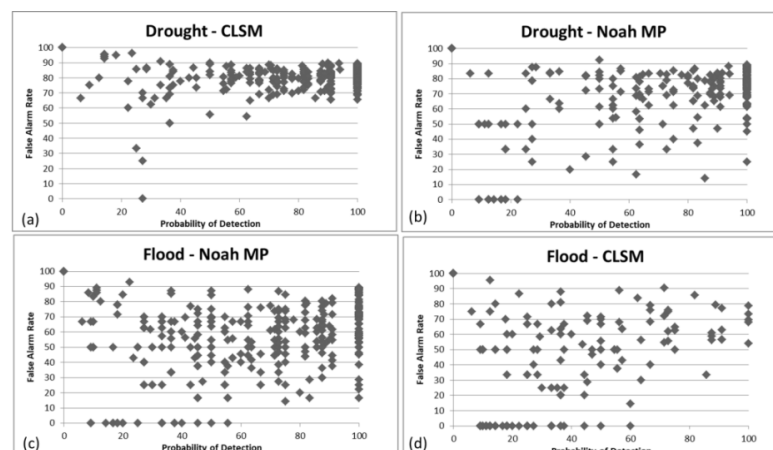


Figura 4 – Gráficos de dispersão de probabilidade de detecção x alarme falso : a e b - seca; c e d – cheia.



## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nas estimativas do armazenamento de água continental demonstram a clara diferença de representação e acurácia da estimativa dos modelos face à diversidade de bacias hidrográficas, com resultados bons nos testes de KGE, NS e RMSE para as bacias dos rios Amazonas, Paraná, Parnaíba e resultados muito ruins para as bacias dos rios Magdalena e do Colorado. As curvas estimadas de TWS, em comparação com as curvas dos dados GRACE, indicam uma dificuldade dos modelos em representar períodos de seca, como visto nos anos de 2016 e 2017 na bacia do rio São Francisco. Também há uma dificuldade de representação dos períodos de cheia como visto nos anos de 2014 a 2017 na bacia do rio Paraná. Os testes de NS e KGE para a estimativa de vazão indicaram uma dificuldade de representação das estações pelos modelos, sendo observada maior dificuldade na região do semiárido brasileiro e na área de transição (regiões 2 e 3 indicadas na Figura 4). A região que apresentou os melhores resultados foi a região amazônica, seguida da região sul-sudeste do Brasil. As avaliações para vazão de eventos extremos (seca e cheia) indicam que os modelos não representam bem os valores absolutos, tendo uma alta variabilidade de representação, o que acaba dependendo da estação que está sendo avaliada. A análise subjetiva de comparação entre os dois modelos aponta para um desempenho geral melhor do modelo CLSM na estimativa do balanço hídrico total, desde os resultados maiores nos testes para as curvas de TWS, a uma melhor representação da seca na bacia do rio Parnaíba. Ainda que o desempenho da estimativa do balanço hídrico total do modelo CLSM se apresente melhor, o modelo Noah-MP teve uma representação mais robusta nos testes Kling-Gupta e Nash-Sutcliffe quando utilizado em conjunto com o modelo HyMAP para as estimativas de vazão das estações na América do Sul. Os resultados apontam para o uso conjunto dos modelos em detrimento do uso individual. Complementarmente, apontam também para uma regionalização em uma escala maior do que a estimativa continental com o mesmo conjunto paramétrico, além da necessidade de que se conduzam estudos mais aprofundados e maior coleta de dados observados para produzir estimativas mais precisas.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de estudos concedida. Agradecimentos são estendidos à FAPERJ, por meio dos projetos FAPERJ – Pensa Rio – Edital 34/2014 (2014-2017) – E-26/010.002980/2014, FAPERJ no E\_12/2015 e FAPERJ no E\_22/2016, bem como ao suporte oferecido pelo CNPq por meio do projeto Edital no 12/2016 – Processo 306944/2016-2, projetos Edital Universal nº 14/2013 – Processo 485136/2013-9 e nº 28/2018 – Processo 435714/2018-0 bem como pelo apoio da CAPES – Código de Financiamento -001 e CAPES- South American Land Data Assimilation-2 SALDAS-2.

## REFERÊNCIAS

- BALSAMO, G., P. VITERBO, A. BELJAARS, B. VAN DEN HURK, A. K. BETTS, and K. SCIPAL, (2009). “A revised hydrology for the ECMWF model: Verification from field site to terrestrial water storage and impact in the integrated forecast system”. *J. Hydrometeor.*, 10, pp. 623–643
- DECHARME, B., DOUVILLE, H., PRIGENT, C., PAPA, F., & AIRES, F. (2008). “A new river flooding scheme for global climate applications: Off-line evaluation over South America.” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D11).
- Endereço eletrônico ONS “Sobre o SIN” Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em 30 abr. 2018
- GETIRANA, A., (2016). “Extreme water deficit in Brazil detected from space.” *Journal of Hydrometeorology*, 17, pp. 591-599.
- GETIRANA, A., A. BOONE, D. YAMAZAKI, B. DECHARME, F. PAPA, and N. MOGNARD, (2012): “The Hydrological Modeling and Analysis Platform (HyMAP): Evaluation in the Amazon basin.” *Journal of Hydrometeorology*, 13, pp. 1641–1665,
- GETIRANA, A., PETERS-LIDARD, C., RODELL, M., BATES, P.D., (2017). “Trade-off between cost and accuracy in large-scale surface water dynamic modeling.” *Water Resources Research* 53(6), PP. 4942-4955
- KOSTER, R.D., SUAREZ, M.J., DUCARNE, A., STIEGLITZ, M., KUMAR, P., (2000). “A catchment based approach to modeling land surface processes in a general circulation model: 1. Model structure.” *J. Geophys. Res. Atmos.* 105, pp. 24809–24822, doi:10.1029/2000JD900327.
- KUMAR, S. V., PETERS-LIDARD, C., TIAN, Y., GEIGER, J., HOUSER, P. R., OLDEN, S., SHEFFIELD, J. (2006). “*LIS — An interoperable framework for high resolution land surface modeling.*” *Environmental Modelling & Software*, 21, pp. 1402–1415.
- KUMAR, S.V., M. JASINSK, D., MOCKO, M., RODELL, J., BORAK, B., LI, H., KATO BEAUDOING, PETERS-LIDARD, C., (2018): “*NCA-LDAS land analysis: Development and performance of a multisensor, multivariate land data assimilation system for the National Climate*” Assessment. *Journal of Hydrometeorology*, n. 2018
- LATRUBESSE, E M.; STEVAUX, J C.; SINHA, R., (2005) “*Tropical rivers.*” *Geomorphology*, 70, 3-4, pp. 187-206, 2005.
- NASH, J. E; SUTCLIFFE, J V., (1970) “*River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles.*” *Journal of Hydrology*, 10, 3, pp. 282-290.
- NIU, G.-Y., YANG, Z.-L., MITCHELL, K. E., CHEN, F., MICHAEL, B. E., ARLAGE, M., KUMAR, A., MANNINGM K. NIYOGI, D. ROSERO, E. TEWARI, M., XIA, Y. (2011) “*The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements.*” *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 116, n. D12,
- REICHLER, R. H., LIU, Q., KOSTER, R. D., DRAPER, C. S., MAHANAMA, S. P. P., & PARTYKA, G. S. (2017). “*Land surface precipitation in MERRA-2.*” *Journal of Climate*, 30, pp. 1643–1664.
- RODELL, M., HOUSER, P. R., JAMBOR, U. E. A., GOTTSCHALCK, J., MITCHELL, K., MENG, C. J., ARSENAULT, K., COSGROVE, B., RADA KOVICH, J., BOSILOVICH, M., ENTIN, J. K., WALKER, P., LOHMANN, D. TOLL, D. (2004). “*The global land data assimilation system.*” *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), PP. 381-394.
- TAPLEY, B. D., S. BETTADPUR, M. WATKINS, and C. REIGBER (2004), “*The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results*”, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09607,
- TAPLEY, B., C. REIGBER (2001), “*The GRACE Mission: Status and future plans*”, *Eos Trans. AGU*, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract G41C-02.
- WATKINS, M., S. BETTADPUR (2000), “*The GRACE mission: Challenges of using micron-level satellite-to-satellite ranging to measure the Earth’s gravity field*”, presented at the International

Symposium on Space Dynamics, Cent. Natl. d'Etud. Spatiales Delegation a la Commun., Biarritz, France, 26– 30 June.