



**Análise de Armazenamento Hídrico na Bacia do Paraná
Utilizando Dados Grace, Associado a Dados Mod16 e Trmm**
Analysis of Water Storage in the Paraná Basin
Using GRACE Data, Associated With TRMM and MOD16 data

Lucas Yuri Dutra de Oliveira; José Marcato Junior;
Paulo Tarso Sanches de Oliveira; Bruno Xavier Arminini & Diego Fernando Ramos Coenio

*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Faculdade de Engenharias, Arquitetura e
Urbanismo e Geografia. Cidade Universitária – Universitário, 79070-900 Campo Grande, MS, Brasil*

*E-mails: lucas.oliveira@ufms.br; jose.marcato@ufms.br;
paulotarsoms@gmail.com; brunoarminini@gmail.com; diegofernando0711@hotmail.com*

Recebido em: 17/06/2019 Aprovado em: 25/07/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_624_630

Resumo

Durante o biênio 2013/14 um cenário de crise hídrica se tornou real em São Paulo, que está localizado na bacia do Paraná. As bacias hidrográficas são unidades de gestão, sendo na bacia onde ocorre todos os tipos de atividades (industriais, humanas, agrícolas, entre outras). Dessa forma um estudo hidrológico da bacia permite que a tomada de decisões em relação aos recursos hídricos seja mais eficaz. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi conduzir uma análise multitemporal do armazenamento hídrico na bacia do Paraná entre os anos de 2002 e 2014. Para isso foram utilizados dados de armazenamento hídrico fornecido pela missão GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*). Para uma análise mais detalhada, a bacia do Paraná foi dividida em seis sub-bacias, sendo elas “Grande”, “Paraná Verde”, “Paranaíba”, Paraná Paranapanema”, “Paraná Tietê” e “Paraná Iguaçu”. Também foi realizado a correlação dos dados de armazenamento hídrico com os dados orbitais de precipitação TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e dados de evapotranspiração MOD16 (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), visando identificar os períodos de maior ocorrência de estiagem, bem como quantificar a redução hídrica ao longo da bacia. Devido à alta confiabilidade dos dados utilizados, foi possível constatar que a crise hídrica de 2013/14 foi a mais acentuada dos últimos anos. Foi possível constatar que os dados GRACE são mais adequados para áreas maiores, sem desconsiderar a forma da área.

Palavras-chave: GRACE; TRMM; Recursos Hídricos

Abstract

A few years ago, specifically the biennium 2013/14, a scenario of water crisis became real in São Paulo, which is located in the Paraná basin. The watersheds are management units, being in the basin where all types of activities occur (industrial, human, agricultural, among others). In this way a hydrological study of the basin allows the decision making in relation to water resources to be more effective. In this context, the objective of this work was to conduct a multitemporal analysis of water storage in the Paraná basin between 2002 and 2014. For this, water storage data provided by the GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) mission was used. For a more detailed analysis, the Paraná basin was divided into six sub-basins, being “Grande”, “Paraná Verde”, “Paranaíba”, Paraná Paranapanema”, Paraná Tietê” and “Paraná Iguaçu”. Correlation of water storage data with TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) and MOD16 (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) orbital data was also performed, aiming at identifying the periods of greater drought occurrence, as well as quantifying the reduction along the basin. Due to the high reliability of the data used, it was possible to verify that the water crisis of 2013/14 was the most pronounced in recent years. It was possible to verify that the GRACE data are better suited for larger areas, without disregarding the shape of the area.

Keywords: GRACE; TRMM; Water resources

1 Introdução

Em 2014 o Estado de São Paulo era destaque nos noticiários nacionais e internacionais devido a uma crise hídrica que afetava a região. São Paulo está localizado na bacia hidrográfica do Paraná. Segundo Porto & Porto (2008), todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas e atividades humanas fazem parte de alguma bacia hidrográfica, a qual é considerada uma unidade de gestão de recursos hídricos. Dessa forma, se torna relevante o desenvolvimento de estudos que tem como objetivo compreender a distribuição espacial do volume de água ao longo da bacia, de forma que sirva como base para tomada de decisões buscando uma melhor gestão.

Os dados GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) têm sido cada vez mais usados em estudos que tem como objetivo o monitoramento do armazenamento total de água. O programa GRACE surgiu em 2002 fruto de uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e DLR (Centro Aeroespacial Alemão). O monitoramento é feito por dois satélites colocados na mesma órbita, separados por uma distância de aproximadamente 200km, com uma elevação de 450km sobre a superfície terrestre, que conseguem estimar a variação das massas de água continental com acurácia de 1,5cm em uma escala de 300km (Di Long *et al.*, 2013).

Scanlon *et al.* (2015) mostraram que desde o início da missão os dados GRACE, as mudanças observadas no armazenamento hídrico têm sido usadas em diversas aplicações hidrológicas. Como exemplos, podemos destacar o uso dos dados GRACE para avaliar o esgotamento das águas subterrâneas em grande aquíferos, e para monitoramento de secas e inundações.

Bomfim (2006) utilizou dados GRACE para caracterizar a variabilidade das massas de água do aquífero Guarani. Os dados GRACE não são capazes de determinar com exatidão o armazenamento de água do espaço, mas permitem a compreensão da variação desse armazenamento de água.

Oliveira *et al.* (2014) utilizaram dados GRACE para verificar as tendências dos componentes do

balanço hídrico no Cerrado, ao longo das três maiores bacias hidrográficas (Paraná, São Francisco e Tocantins) presentes neste bioma, entre os anos de 2003 a 2010. Os resultados mostraram que existem incertezas nos dados, mas ainda assim demonstram potencial para análise do balanço hídrico, principalmente em grandes áreas.

Getirana (2015) realizou uma análise do déficit hídrico no Brasil utilizando dados GRACE, considerando os limites regionais como área de estudo. Como resultado, foi possível observar que os dados GRACE são capazes de identificar alterações no volume de água em reservatório, podendo assim identificar secas extremas.

Melo *et al.* (2016) analisaram a seca na bacia hidrográfica do Paraná, considerando a extensão total da bacia, utilizando dados de precipitação (TRMM) e dados GRACE. O período de análise foi entre os anos de 1995 e 2015, sendo constatado dois períodos de seca, um no começo dos anos 2000 (de intensidade moderada a severa) e outro em 2014 (a mais crítica no período). Os autores investigaram a bacia hidrográfica em sua totalidade. Diante do que foi realizado por esses autores, há o questionamento se os dados GRACE e TRMM são capazes, e adequados, de avaliar o armazenamento hídrico nas principais sub-bacias da bacia hidrográfica do Paraná.

O objetivo desse trabalho foi realizar uma análise multitemporal da variação do armazenamento hídrico na bacia do Paraná, considerando a divisão das seis principais sub-bacias, através de sensoriamento remoto orbital entre os anos 2002 e 2014. Além da variação do armazenamento hídrico, buscou-se relacionar os dados GRACE com os dados de precipitação (TRMM) e dados de evapotranspiração (MOD16), para identificar o impacto que ambos causam no armazenamento hídrico.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Paraná, localizada na Região Sudeste do Brasil (Figura 1), além de parte da Região Sul e Centro-Oeste. De acordo com arquivos vetoriais disponibilizados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

ca), obtidos no Visualizador da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), a bacia do Paraná tem como relevo predominante o Planalto, tendo depressões, patamares e serras em algumas regiões. Na parte norte o Cerrado possui a maior porção, enquanto ao sul a maior parte é ocupada pela Mata Atlântica. Seu clima é o Tropical Brasil Central, caracterizado por invernos secos e com temperatura amena e verões quentes e chuvosos, contando com a presença de zonas temperadas ao sul da bacia e pequenas áreas de massa d'água distribuídas ao longo da bacia, conforme demonstrado na Figura 1.

A análise da variação de armazenamento hídrico foi feita em cada uma das seis principais sub-bacias da bacia do Paraná, de forma que o estudo possa apresentar resultados mais detalhados se comparado ao trabalho de Melo *et al.* (2016), de modo a identificar quais regiões dentro da bacia sofreram com a escassez hídrica. As seis principais sub-bacias que compõem a bacia do Paraná, conforme demonstrado na Figura 2, são: Paraná-Iguaçu, Paraná-Verde, Parapanema, Paraná-Tiete, Paranaíba e Grande.

Os arquivos vetoriais referentes a bacia do Paraná e a cada sub-bacia foram obtidos no Hidroweb

(ANA, 2016). Dentre as sub-bacias investigadas, a do Paraná Iguaçu apresenta menor área, aproximadamente 70800km².

2.2 Análise Temporal do Armazenamento Hídrico

Os dados GRACE são disponibilizados pela NASA de três diferentes centros de processamento, sendo eles CSR (*Center for Space Research. Austin, Texas*), GFZ (*German Research Centre for Geosciences. Postdam, Alemanha*) e JPL (*Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, Califórnia*), e apresentam resolução temporal mensal. As imagens apresentam resolução espacial de 1°, aproximadamente 110 km.

Cada mês possui três imagens, sendo cada um dos três centros de processamento. Para obter um resultado mais acurado, foi calculada a média de cada mês $((CSR + JPL + GFZ)/3)$, conforme sugerido por Sakamura *et al.* (2014). Foi realizado um processo de reamostragem, com o plugin "Reamostragem" do QGIS (QGIS Development Team, 2016), onde a resolução espacial foi alterada de 1° para 0,25°, de modo a tornar os dados GRACE com a mesma resolução espacial dos dados TRMM. O processo de

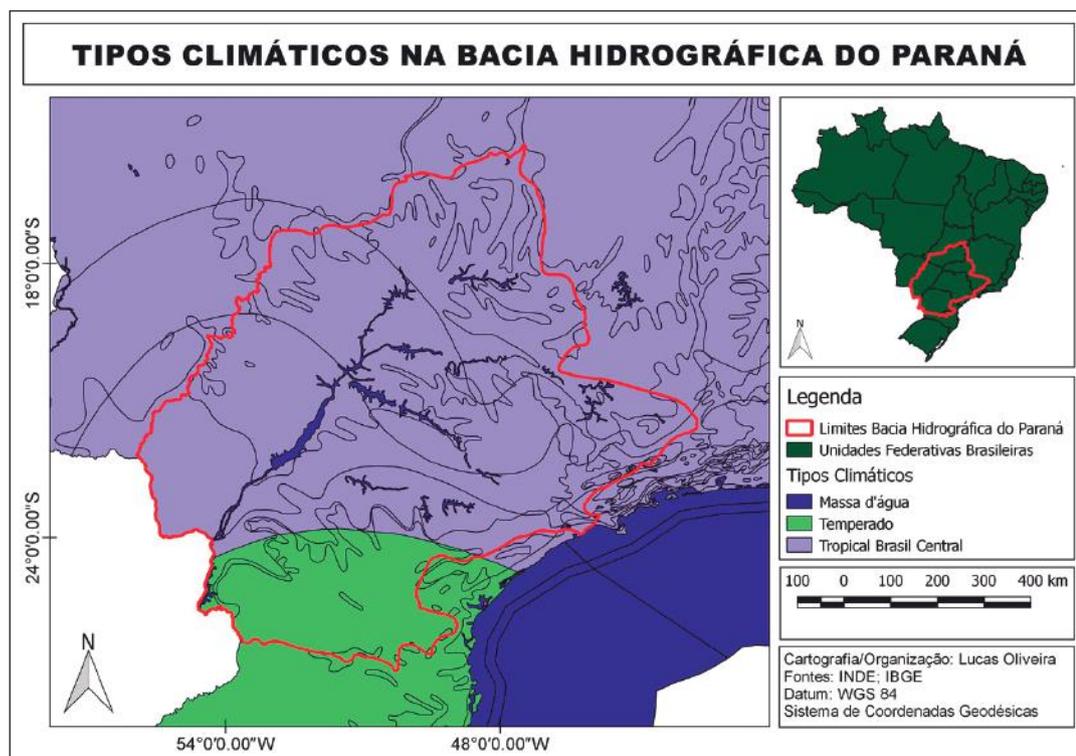


Figura 1 Tipos climáticos da Bacia Hidrográfica do Paraná



Figura 2 Bacia do Paraná, dividida por sub bacias.

reamostragem foi realizado usando o método do vizinho mais próximo, e, portanto, não alterou a qualidade dos dados originais. Foram utilizados os arquivos vetoriais, obtidos no Hidroweb, para fazer o recorte das imagens separando por sub bacias. Através dos recortes foi possível a extração dos dados, que foram tabelados e posteriormente representados graficamente, o que possibilitou realizar uma análise visual da série temporal, entre janeiro de 2002 a dezembro de 2014. Em termo quantitativos, realizou-se a correlação (item 2.3) na seção a seguir.

2.3 Correlação dos dados de armazenamento hídrico com dados de precipitação e evapotranspiração

A correlação dos dados foi feita com base nos dados orbitais de precipitação do TRMM, dis-

ponibilizados no site do Giovanni (NASA, 2017), uma plataforma interativa que permitiu a visualização de dados, e com os dados de evapotranspiração MOD16, disponibilizados gratuitamente pelo NTSG (Numerical Terradynamic Simulation Group, University of Montana).

O processamento dos dados de precipitação foi feito de forma semelhante aos dados GRACE. O processo foi realizado com o QGIS, onde foi utilizado os arquivos vetoriais das bacias para fazer o recorte da camada raster, além da extração das estatísticas de cada recorte.

Os dados de precipitação e de armazenamento foram representados graficamente, de forma que facilitasse a compreensão. Por fim calculou-se o coeficiente de correlação, utilizando o método de Pearson, entre os dados TRMM/GRACE e MOD16/GRACE.

3 Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta os dados de armazenamento hídrico (GRACE) e os dados de precipitação (TRMM) e de evapotranspiração (MOD16) para cada sub bacia da bacia do Paraná.

Conforme demonstrado por Oliveira et al. (2014), os dados GRACE são mais adequados à áreas maiores (pelo menos 100.000km²), porém a reamostragem, utilizando o método do vizinho mais próximo, possibilita que os dados sejam utilizados em área menos, como é o caso das sub-bacias. Os

dados GRACE mostram uma variação conforme a precipitação vai variando pois há a influência da precipitação, uma vez que a precipitação é a única forma de entrada da água em um balanço hídrico. Foi constatado que a variação no armazenamento hídrico foi reduzida significativamente no ano de 2014 em quatro das seis sub bacias, exceto na sub bacia Paraná-Iguaçu e Paranapanema.

Das seis sub bacias, quatro delas apresentam o mesmo padrão de variação em relação a precipitação, enquanto a sub bacia Paraná-Iguaçu possui uma variação com valores elevados de precipitação, e a

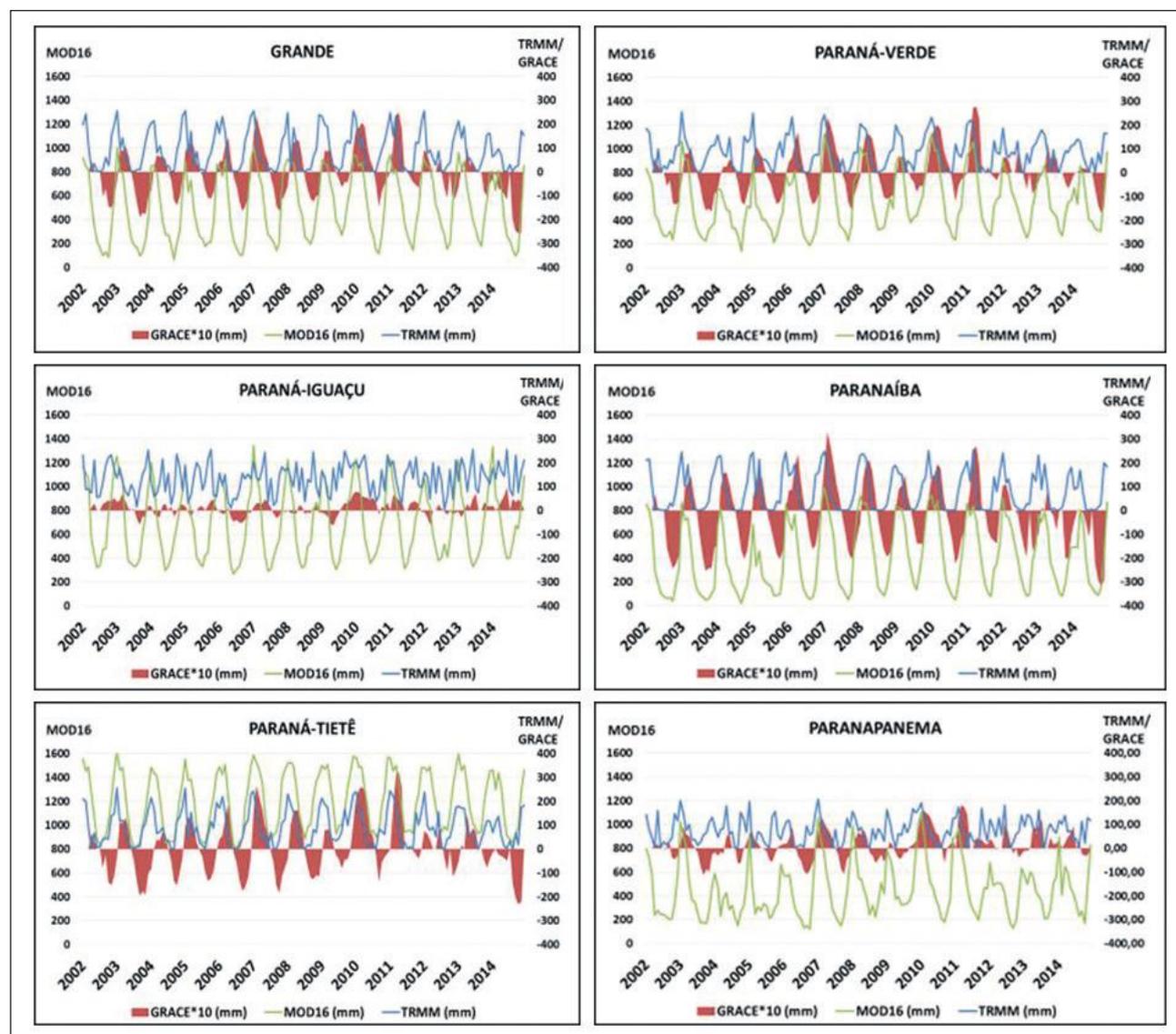


Figura 3 Dados de precipitação, evapotranspiração e armazenamento hídrico nas sub bacias da bacia do Paraná.

Parapanema com valores mais baixos. Com exceção da Paraná-Iguaçu, é possível notar uma redução na precipitação a partir do segundo semestre de 2013, que durou até o segundo semestre de 2014. A precipitação volta a subir a partir de 2015. A partir do final de 2003 e durante o ano de 2004 é possível notar que a precipitação também foi baixa, porém ainda assim era levemente maior que a registrada durante a crise hídrica de 2013/2014.

A precipitação não reflete imediatamente no armazenamento hídrico, ocorrendo um atraso temporal que varia entre um e dois meses. A Figura 4 representa o tempo de atraso temporal e qual a correlação entre os dados de precipitação e armazenamento hídrico.

BACIA / ATRASO TEMPORAL	0 MÊS	1 MÊS	2 MESES	3 MESES
Grande	18,95%	60,39%	79,64%	79,56%
Paranaíba	28,55%	69,80%	86,09%	82,44%
Parapanema	26,31%	60,12%	67,41%	62,91%
Iguaçu	40,66%	58,03%	48,24%	39,13%
Tietê	25,48%	66,82%	81,68%	79,01%
Verde e Peixes	25,63%	66,99%	82,49%	76,55%

Figura 4 Atraso temporal da influência da precipitação no armazenamento hídrico, e confiabilidade da estimativa.

Ao analisar a Figura 3, verifica-se uma forte correlação entre os dados de precipitação e armazenamento hídrico, em geral, com valores superiores a 70%. A sub-bacia do Paraná Iguaçu foi a única que apresentou correlação inferior a 60%. Destaca-se que essa sub-bacia é a que apresenta menor área, e que isso pode justificar essa menor correlação. Os dados GRACE, mesmo reamostrados para 0,25° apresentam resolução espacial de 1°.

Já na evapotranspiração, cinco das seis sub-bacias apresentam um padrão de variação semelhante, embora tenha a presença de pequenas discrepâncias de valores em alguns pontos. A sub-bacia do Tietê foi a única que apresentou uma variação particular, sendo suas taxas de evapotranspiração bem elevadas durante todo o período de estudo.

Da mesma forma que a precipitação, há um certo atraso temporal na influência da evapotranspiração no armazenamento hídrico. A Figura 5 apresenta a correlação dos dados MOD16 com os dados GRACE, além do atraso temporal para cada sub-bacia.

BACIA / ATRASO TEMPORAL	0 MÊS	1 MÊS	2 MESES	3 MESES
Grande	64,09%	87,74%	86,71%	67,29%
Paranaíba	63,35%	87,24%	86,40%	66,52%
Parapanema	61,68%	80,68%	76,66%	59,26%
Iguaçu	28,55%	24,02%	17,58%	13,38%
Tietê	46,56%	77,72%	88,12%	79,39%
Verde e Peixes	61,88%	88,06%	88,58%	70,36%

Figura 5 Atraso temporal da influência da evapotranspiração no armazenamento hídrico, e confiabilidade da estimativa.

Com base na Figura 4 é possível notar que a correlação entre os dados de evapotranspiração e armazenamento hídrico são superiores a 80% em cinco sub-bacias. A única que apresenta um valor baixo, inferior a 30%, é a sub-bacia Paraná-Iguaçu.

4 Conclusões

A utilização dos dados GRACE possibilita que a análise da variação do armazenamento hídrico em uma bacia hidrográfica seja feita de forma confiável. Utilizando a Bacia Hidrográfica do Paraná, dividida em suas seis principais sub-bacias, os dados GRACE demonstraram serem mais confiáveis em áreas maiores. Devido sua resolução espacial de 1°, sua utilização em áreas menores pode se tornar limitada.

Além dos dados GRACE, foi verificado que os dados TRMM e MOD16 apresentam alta confiabilidade e são adequados para análises temporais. Foi constatado que os dados de armazenamento hídrico, quando comparados aos dados de precipitação e evapotranspiração, apresentam atraso temporal de no máximo 2 meses. De forma semelhante, verificou-se uma forte correlação entre os dados de precipitação e evapotranspiração com dados de armazenamento hídrico, em geral, é superior a 70%.

Durante o biênio 2013/14 houve uma redução no armazenamento hídrico em boa parte da Bacia Hidrográfica do Paraná. A precipitação mantém um padrão em quatro das seis sub-bacias, tendo as duas sub-bacias mais ao sul com variações singulares. Na evapotranspiração, apenas uma sub-bacia (Paraná-Tietê) possui variação diferente do padrão estabelecido pelas demais sub-bacias.

5 Agradecimentos

Agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPQ, pelas bolsas de Diego Fernando Ramos Coenio e Lucas Yuri Dutra de Oliveira.

6 Referências

- Agência Nacional de Águas. Hidroweb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 18 Ago. 2016.
- Bonfim, E.P. & Molina, E.C. 2009. Análise da variação dos elementos do campo de gravidade na região do Aquífero Guarani a partir dos dados GRACE. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27(1): 17-34.
- D'Oliveira, A.B.; Angelis, C.F.D.; Arai, L.A.N. & Machado, T. 2010. Estimativas de precipitação por microondas passivas com ênfase na participação brasileira no GPM. In: *XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p.1-5.
- Getirana, A. 2015. Extreme Water Deficit in Brazil Detected from Space. *Journal of Hydrometeorology*, 17: 591-599.
- Guedes, A.E.D.S.; Cândido, L.A. & Santo, A.R.S.E. 2013. Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia. *Revista Ambiente & Água*, 8(2): 88-89.
- INDE. *Visualizador da INDE*. Disponível em: <<http://visualizador.inde.gov.br/>>. Acesso em: 22 de Abr. 2016.
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A.T.C.; Stocker, E.; Adler, R.F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T.; Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z. & Huffman, G. 2000. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, 39: 1965-1982.
- LIRA S. A. Análise de correlação: Abordagem Teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. Dissertação – UFPR, 2004.
- Long, D.; Longuevergne, L. & Scanlon, B.R. 2015. Global analysis of approaches for deriving total water storage changes from GRACE satellites. *Water Resources Research*, 51(4): 2574-2594.
- Melo, D.C.D.; Scanlon, B.R.; Zhang, Z.; Wendland, E. & Yin, L. 2016. Reservoir storage and hydrologic responses to droughts in the Paraná River basin, south-eastern Brazil. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(11): 4673.
- NASA. *Grace Tellus*. Disponível em: <<http://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/monthly-mass-grids-land/>>. Acesso em: 22 de Abr. 2016a.
- NASA. *Giovanni*. Disponível em: <<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>. Acesso em: 22 de Abr. 2016b.
- Nie, N.; Zhang, W.; Guo, H. & Ishwaran, N. 2015. 2010–2012 drought and flood events in the Amazon Basin inferred by GRACE satellite observations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1): 096023-096023.
- Oliveira, P.T.S.; Nearing, M.A.; Moran, M.S.; Goodrich, D.C.; Wendland, E. & Gupta, H.V. 2014. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. *Water Resources Research*, 50(9):7100-7114.
- Porto, M.F.A. & Porto, R.L. 2008. Gestão de Bacias Hidrográficas. *Estudos Avançados*, 22(63): 43-60.
- QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Versão 2.14. Essen. 2016.
- Sakumura, C.S.; Bettadpur, S. & Bruinsma, S. 2014. Ensemble prediction and intercomparison analysis of GRACE time-variable gravity field models. *Geophysical Research Letters*, 41(5): 1389–1397.
- UNIVERSITY OF MONTANA. Numerical Terradynamic Simulation Group. Disponível em: <http://files.ntsug.umt.edu/data/NTSG_Products/MOD16/MOD16A2_MONTHLY.MERRA_GMAO_1kmALB/>. Acesso em: 09 de Fev. 2018.
- Xavier, A.C.; King, C.W. & Scanlon, B.R. 2016. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, 36(6): 2644-2659.