

## REFLEXÕES SOBRE MODELAGEM HIDROLÓGICA COM SUPORTE DE DADOS DA MISSÃO ESPACIAL GRACE NA BACIA AMAZÔNICA

*Luciano N. R Xavier<sup>1\*</sup>, Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>2</sup>, Anny Cazenave<sup>3</sup> & Afonso Augusto Magalhães de Araujo<sup>4</sup>*

**Resumo** – O presente trabalho tem por objetivo discutir sobre a possibilidade do uso, na modelagem hidrológica de grandes bacias, com enfoque especial na bacia Amazônica, das séries de armazenamento de água total calculadas a partir dos dados da missão espacial GRACE. As duas principais sub-bacias da bacia do rio Negro foram adotadas neste estudo. A modelagem foi efetuada no período de 1992-2010 com uma versão modificada do modelo concentrado conceitual SMAP mensal. Os resultados obtidos mostraram a capacidade do modelo em reproduzir as vazões mensais das duas sub-bacias, embora o armazenamento calculado pelo modelo tenha apresentado importantes diferenças com respeito à série estimada a partir dos dados GRACE. Ênfase será dada na discussão das limitações do estudo empreendido, e uma nova abordagem para modelagem e consideração dos dados GRACE é proposta.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrológica, Missão GRACE, Amazônia

## REFLEXIONS ABOUT HYDROLOGICAL MODELING WITH GRACE SATELLITE DATA IN THE AMAZON BASIN

**Abstract** – The present study aims to discuss the possible use of total water storage (TWS) series derived from GRACE mission data in large basins hydrological modeling. The two main basins from Negro river watershed were adopted in this study. Modeling was been performed over the 1992-2010 time frame with a modified version of the lumped conceptual SMAP model. The results obtained showed that the simplified model has been able to reasonably well simulate monthly stream flows though the model calculated TWS series presented important differences with respect to the GRACE one. In the discussion that follows the limitations of the study undertaken therein will be emphasized, and a new approach to hydrologic modeling with GRACE data is proposed.

**Keywords** – Hydrologic modeling, GRACE Mission, Amazon

### 1. INTRODUÇÃO

Desde sua fase de concepção, esperou-se que os dados obtidos pela missão espacial GRACE (*Grace Recovery and Climate Experiment*), a primeira dedicada exclusivamente à medição da variabilidade do campo de gravidade terrestre, pudessem fornecer preciosas informações sobre o ciclo hidrológico na grande escala. As séries de armazenamento total de água na superfície

<sup>1</sup> CEPEL, Email: [lnrxavier@gmail.com](mailto:lnrxavier@gmail.com).

<sup>2</sup> Programa de Engenharia Civil, COPPE- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Email: [otto@coc.ufrj.br](mailto:otto@coc.ufrj.br)

<sup>3</sup> LEGOS, Email: [anny.cazenave@legos.obs-mip.fr](mailto:anny.cazenave@legos.obs-mip.fr)

<sup>4</sup> Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Email: [afonsoaraujo@poli.ufrj.br](mailto:afonsoaraujo@poli.ufrj.br)

terrestre, calculadas com base nas medições efetuadas pela missão GRACE, foram objeto de centenas de trabalhos desde 2004, alguns desses com foco em seu possível uso na modelagem hidrológica (Werth e Guntner, 2010; LO et al., 2010, entre outros).

O presente trabalho tem por objetivo discutir, de forma sucinta, o uso dos dados GRACE na modelagem hidrológica de grandes bacias. Em Xavier (2012), apresentou-se uma detalhada análise do comportamento dos dados GRACE na bacia Amazônica e sua comparação com séries de nível de água nos rios e chuva. Além da apresentação das premissas adotadas e de sua justificativa conceitual, destaque será dado, no presente trabalho, aos desafios levantados no estudo de Xavier (2012).

## 2. METODOLOGIA

A estrutura de análise inicial adotada reside na consideração de dados de armazenamento obtidos a partir das soluções GRACE e dos resultados de um modelo conceitual mensal em grande escala. Esse fato deve-se a duas razões principais:

- 1) A grosseira resolução espacial dos dados GRACE (3-4 graus) torna muito difícil a sua utilização na modelagem hidrológica, mesmo para grandes bacias hidrográficas. Os inúmeros estudos apresentando comparações entre séries de armazenamento GRACE *versus* as calculadas por modelos consideraram a integração dos resultados do modelo, obtidos em escalas espaciais e temporais mais finas, na resolução espacial mais grosseira do GRACE (Guntner, 2008). Portanto, a variabilidade de pequena escala da série de armazenamento representada por modelos é severamente suavizada, o que, na pior situação, leva à perda completa de padrões de correlação espaciais dos dados de armazenamento. Como consequência prática, dados de armazenamento GRACE podem ser aproximados por inúmeros resultados de armazenamento médio na bacia obtidos pelo modelo, aumentando o caráter de indeterminação do processo de calibração.
- 2) A potencial existência de forte correlação entre os dados de armazenamento GRACE, na resolução de 3-4 graus, e de vazão da bacia, conforme observado em estudos sobre o comportamento dos dados GRACE na bacia amazônica (Almeida Filho, 2009; Xavier, 2012), pode significar que, em uma escala tão grosseira, a variabilidade representada observada nos dados GRACE na bacia amazônica é causada essencialmente pelas enormes variações de armazenamento que ocorrem nas calhas de seus rios principais. Sendo verdadeira essa hipótese, as séries GRACE corresponderiam, na bacia amazônica, a uma fonte redundante de informação para a calibração de um modelo hidrológico.

Segundo o que foi exposto acima, a avaliação do ganho real de informação hidrológica proporcionado pelo uso dos dados GRACE só poderia ser plenamente empreendida se dados GRACE de resolução mais fina fossem disponíveis, pelo menos, no nível de resolução do modelo hidrológico adotado. Apesar de uma resolução mais fina não poder ser atingida atualmente para os dados GRACE obtidos a partir de soluções globais, o arcabouço apresentado em Xavier (2012) teve como objetivo apresentar subsídios para a avaliação a respeito do uso desses dados na modelagem hidrológica de grandes bacias. O estudo foi feito considerando a variabilidade de armazenamento em sub-bacias de dimensão da resolução dos dados GRACE (~160.000 km<sup>2</sup>). Para alcançar esse objetivo, as seguintes etapas estão previstas:

- 1) Uso de um modelo hidrológico conceitual simplificado, na escala mensal, capaz de representar a variabilidade média do armazenamento na escala da bacia e comportamento da vazão em sua foz. Ainda que o uso de um modelo concentrado em bacias dessa dimensão seja uma simplificação extrema, tendo em vista o exposto previamente, e como o propósito principal de modelagem aqui é permitir o cálculo do estado de armazenamento médio na

escala da bacia, essa simplificação é considerada como razoável. Adotou-se uma versão do modelo SMAP mensal (Lopes *et al.*, 1981) modificado com a introdução de um reservatório de interceptação e de uma função de defesagem na geração de escoamento superficial. Conforme detalhado em Xavier (2012), essa nova versão do modelo SMAP possui 8 parâmetros calibráveis e 3 condições iniciais devem ser definidas.

- 2) Avaliação das séries de vazões e de armazenamento do modelo por meio de uma análise de sensibilidade. No presente trabalho, adotou-se uma abordagem simplificada, levando-se em conta apenas as vazões calculadas, comparando, em seguida, o armazenamento calculado com o observado a partir dos dados GRACE.

### 3. REGIÃO DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

A bacia do rio Negro, importante afluente do rio Solimões, foi adotada para a aplicação do arcabouço proposto. Essa bacia tem sido objeto de muitos estudos publicados nos últimos anos (Escarião, 2001; Frappart *et al.*, 2005; Frappart *et al.*, 2006; Getirana, 2009; Bonnet *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2010); portanto, um abrangente conhecimento sobre suas principais características hidrológicas foi acumulado. Uma detalhada descrição das principais características da bacia do rio Negro pode ser encontrada em Getirana (2009) e Silva (2010).

Na bacia do rio Negro, os esforços de modelagem foram concentrados em suas duas principais sub-bacias definidas pelas estações fluviométricas de Serrinha (14420000) e Caracarái (14710000). Essa escolha foi feita com base nos seguintes argumentos:

- i) a maioria das estações com dados disponíveis na bacia do rio Negro está localizada nessas duas sub-bacias;
- ii) as áreas de drenagem são da ordem da resolução dos dados GRACE: Serrinha (~290.000 km<sup>2</sup>) e Caracarái (~120.000 km<sup>2</sup>);
- iii) a essas estações fluviométricas, correspondem as maiores áreas da bacia do rio Negro que possuem séries de vazão; embora existam séries de nível de água a jusante de Serrinha, o forte efeito de remanso do rio Amazonas (Meade *et al.*, 1991) impossibilita a obtenção de curvas-chave.

Neste estudo, foram adotadas as séries de vazão e precipitação do banco de dados da Agência Nacional de Águas com dados disponíveis no período 1992-2010. Considerou-se a série normal climatológica da evapotranspiração potencial da estação Manaus do INMET. Os dados GRACE (*release* 04) foram obtidos no website <http://grace.jpl.nasa.gov/data/> como células (*grids*) globais na resolução de 1 grau.

### 4. RESULTADOS

A fim de analisar o comportamento da série calculada para cada bacia, foi utilizada a metodologia GLUE (Freer *et al.*, 1996). Após essa etapa, simulações foram realizadas para cada bacia com os conjuntos de parâmetros que levaram aos maiores valores do índice de Nash-Sutcliffe. Os valores do índice de Nash-Sutcliffe (NS) obtidos para Serrinha e Caracarái foram 0,81 e 0,91, respectivamente.

Mesmo que uma boa concordância tenha sido alcançada entre as séries de vazão calculada e observada no período 1992-2010 para Serrinha, o modelo mostrou dificuldades em simular os valores extremos, especialmente no que diz respeito aos picos. Por outro lado, como esperado, uma redução na variabilidade da série foi observada. Resultados nitidamente superiores foram alcançados para Caracarái. Embora alguns erros significativos tenham sido observados nos picos, os períodos de recessão da série foram bem simulados. Para ambas as bacias, as séries calculadas apresentaram valores médios inferiores aos das séries observadas.

A partir dos conjuntos ótimo de parâmetros, foram calculadas as séries de armazenamento definidas pelo modelo SMAP, sendo comparadas, em seguida, às séries GRACE. Esses resultados serão apresentados e discutidos a seguir.

### a) Serrinha

Em Serrinha, a série GRACE apresenta comportamento semelhante ao das séries de precipitação e vazão, com um atraso de 1 a 2 meses. No entanto, existem algumas discrepâncias na relação entre a precipitação e a série GRACE. Um estudo preliminar demonstrou que esse comportamento pode ser atribuído aos seguintes fatores:

- (i) um comportamento, quando comparado com a bacia como um todo, anômalo da região mais a montante da bacia de Serrinha, que apresenta uma grande semelhança com a bacia vizinha do rio Orinoco em termos de dados GRACE;
- (ii) uma definição ambígua, com incertezas, da área de drenagem da bacia a partir do mapa de direções de fluxo adotado de resolução de 1 grau (oriundo do Projeto TRIP);
- (ii) a possível influência da contribuição do canal Casiquera para o escoamento total na bacia do Negro em Serrinha; o canal Casiquera consiste em uma ligação permanente, com cerca de 300 km de extensão, entre as bacias do Orinoco e Negro, em que uma pequena parte do escoamento gerado na parte extrema a montante da bacia do Orinoco contribui para a bacia do rio Negro.

Como visto anteriormente, a série de vazões calculada para Serrinha apresenta ajuste razoável quando comparada à observada, sobretudo no período 2002-2010, com correlação encontrada de 0,90. No entanto, a série de armazenamento modelada, nessa bacia, apresenta uma grande discrepância quando confrontada com a série de dados GRACE, como pode ser observado na Figura 1.

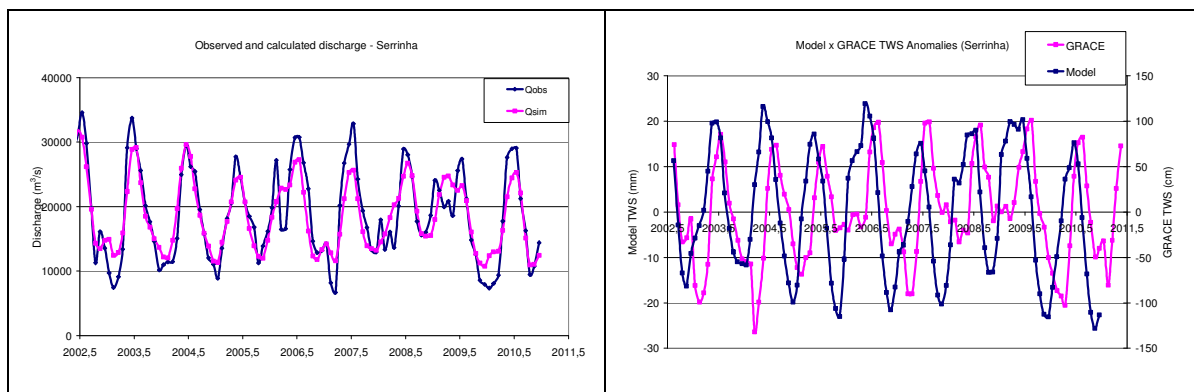


Figura 1 – Vazão observada ( $Q_{obs}$ ) e calculada ( $Q_{cal}$ ) (esquerda) e o armazenamento calculado e anomalias GRACE (direita) no período 2002-2010 – Serrinha (Fonte: Xavier, 2012)

As duas séries de armazenamento, modelada e GRACE, apresentam correlação insignificante para defasagem nula ( $lag\ 0$ ) (0,30), com valores maiores em defasagens de 1 mês a 3 meses ( $lags$  de 1 a 3) (0,62, 0,76 e 0,73, respectivamente).

Verifica-se, ainda, que a série de armazenamento calculada pelo modelo apresenta variabilidade inferior à da série GRACE. No entanto, a sazonalidade bem definida da série de armazenamento modelada não foi observada na série GRACE (por exemplo, ver o período de 2004-2006). Além disso, há uma defasagem de cerca de 1 mês entre as duas séries, o que pode ser devido às seguintes razões:

(i) o modelo carece de um reservatório representando a retenção de água nas áreas de inundação contíguas ou em canais secundários, o que contribui para a retenção de água na bacia;

(ii) o comportamento da série GRACE, observado na região mais a montante da bacia de Serrinha – como mostrado em Xavier (2012), esse comportamento aproxima-se mais ao da bacia vizinha do rio Orinoco. Esse possível efeito de vazamento de sinal, se não excluído, pode distorcer a variabilidade real do armazenamento dos dados GRACE na bacia de Serrinha.

## b) Caracaráí

Resultados diversos foram obtidos para a bacia de Caracaráí. Uma concordância muito boa foi verificada ao se comparar a série de armazenamento calculada pelo modelo SMAP e a série GRACE, com valores de correlação de 0,82, 0,86 e 0,65 nas defasagens de 0 a dois meses (*lags* 0 a 2), respectivamente. Durante o período de 2002-2010, uma correlação de 0,96 foi encontrada para as séries de vazão calculada e vazão observada (Figura 2). Contudo, como mostrado na Figura 2, há uma defasagem de cerca de 1 mês entre a série de armazenamento do modelo e a série GRACE.

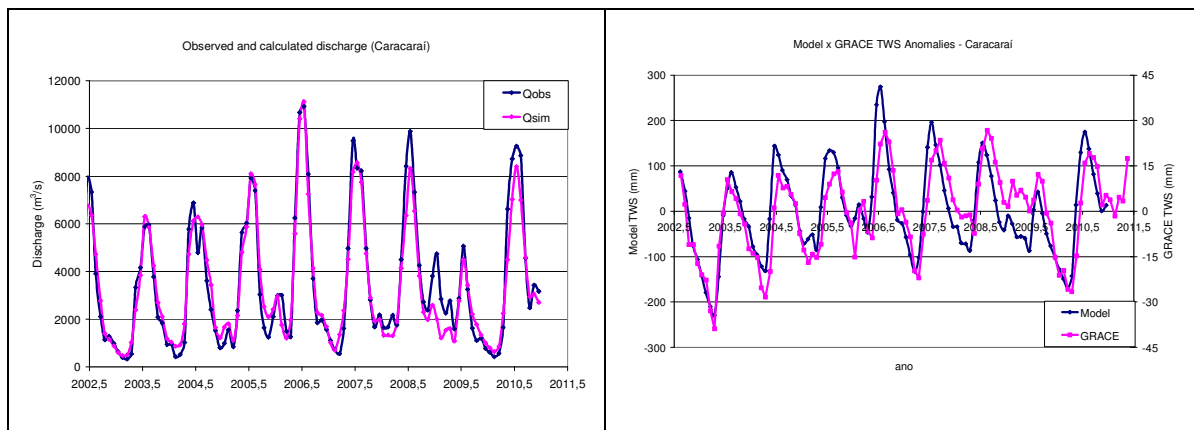


Figura 2 – Séries de vazão observada ( $Q_{obs}$ ) e calculada ( $Q_{cal}$ ) (esquerda) e armazenamento calculado pelo modelo e anomalias GRACE (direita) no período 2002-2010 – Caracaráí (Fonte: Xavier, 2012)

Com base no apresentado anteriormente, verificou-se que, para a bacia de Caracaráí, o modelo conceitual concentrado adotado foi capaz de reproduzir muito bem o comportamento da vazão e o do armazenamento total na bacia, mesmo este apresentando uma defasagem de 1 mês.

## 5. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados mostram que, dependendo das características da bacia, mesmo um modelo simples pode ser usado para estimar satisfatoriamente o comportamento do armazenamento médio na bacia. A aplicação do modelo SMAP, na bacia do rio Branco, em Caracaráí, levou a bons resultados, ainda que o armazenamento total calculado pelo modelo tenha apresentado uma diferença de fase com respeito à série GRACE. No entanto, algumas discrepâncias importantes foram encontradas, o que mereceria uma discussão mais aprofundada.

O comportamento aparentemente anômalo da série GRACE, na região de montante da bacia do Negro, em Serrinha, mereceria uma análise mais detalhada. Poderia esse comportamento ser atribuído à contribuição por vazamento de sinal (*leakage*) da bacia vizinha do Orinoco? Ou ainda, ao efeito da contribuição da bacia do canal Casiquera? Essas questões devem merecer uma análise detalhada futura.

Ainda que, em termos de vazão mensal modelada, bons resultados tenham sido obtidos para a sub-bacia de Caracaráí, e razoáveis para a de Serrinha, o uso de um modelo conceitual concentrado para regiões tão grandes é uma simplificação significativa. Ainda que seja possível simular

razoavelmente bem a vazão na seção exutória, em áreas muito grandes, o uso de um modelo concentrado faz com que a dinâmica interna do escoamento, especialmente as relacionadas ao comportamento das áreas de inundação, seja perdida. Por conseguinte, a modelagem hidrológica de grandes bacias deveria ser preferencialmente realizada por um modelo distribuído. No entanto, questões de identificabilidade dos parâmetros e da escassez de dados deve ser colocada contra essa afirmação bastante óbvia (Jakeman e Hornberger, 1993). Para as grandes bacias da América do Sul, a primeira dificuldade raramente pode ser superada. Além disso, a representação de processos em modelos hidrológicos com muitos parâmetros constitui-se uma dificuldade intrínseca, já que esses terão que ser estimados por calibração. Assim, ainda que um hipotético grande banco de dados estivesse disponível, essa dificuldade permaneceria.

Uma alternativa poderia ser a elaboração de um modelo conceitual simples distribuído com o objetivo de representar os principais processos em escala de bacia. Por exemplo, os processos de interceptação e de geração de escoamento podem ser representadas de maneira distribuída, enquanto os demais, de maneira média ou concentrada. Além disso, a bacia poderia ser sub-dividida em poucas regiões elementares similares, com base, por exemplo, no conceito das unidades de resposta hidrológica (HRU - *Hydrologic Response Unit*), conforme Kite e Kouwen (1992) (por exemplo, ver procedimento adotado em Getirana, 2009 para o rio Negro). Essa divisão seria feita a partir das características de solo, topografia e vegetação, principais condicionantes da resposta hidrológica. Ao se adotar esse procedimento, uma estrutura conceitual simples, representando os principais processos hidrológicos, poderia ser adotada para cada sub-bacia, definida pela existência de uma série de vazões que permita a calibração do modelo, com cada uma delas subdividida em 2 ou 3 HRU's. Obviamente, para a consecução de tal estudo, deve-se dispor de uma base de dados adequada.

A partir dessa nova abordagem para a modelagem hidrológica, os dados GRACE poderiam ser utilizados como uma fonte (a princípio, independente) de informações para a validação do modelo, onde a adequação do modelo seria avaliada pela correlação entre a série de armazenamento modelada e a obtida a partir dos dados GRACE. Para a consideração dos dados GRACE na calibração do modelo, dever-se-ia adotar uma metodologia multiobjetivo, como, por exemplo, as adotadas nos estudos de Werth e Guntner (2010) e Lo *et al.* (2010).

Com respeito à questão de escala de modelagem, na maior parte dos estudos em que foram comparadas as séries de armazenamento obtidas a partir dos dados GRACE com as dos modelos hidrológicos, foram adotados modelos distribuídos e esquemas de superfície, tendo os volumes totais, calculados para uma malha de resolução igual ou inferior a 0,5 grau (~50 km) e em passos de tempo inferiores a 1 dia; em seguida, esses resultados foram promediados e, então, comparados com a série GRACE mensal média na bacia. Ora, ainda que o refinamento na modelagem possa levar, se a base de dados existente *a priori* assim o permitir, a resultados hidrológicamente representativos, o fato de que médias de inúmeros valores obtidos por um modelo sejam comparadas com os dados GRACE, originalmente derivados nas escalas espacial de 4 graus e temporal de 1 mês, provavelmente leva a uma grande indeterminação no processo de calibração: inúmeros valores médios de um conjunto enorme de volumes podem ser capazes de atender ao armazenamento médio na bacia representado pelos dados GRACE. Logo, além da indeterminação intrínseca à calibração de modelos hidrológicos (Beven, 1989), acrescenta-se um grau de indeterminação extra ao se considerar, dessa forma, os dados GRACE no processo de calibração.

Pela razão exposta acima, ao se pretender utilizar os dados GRACE na calibração de um modelo hidrológico, dever-se-ia buscar a adequação entre a escala de representação dos processos no modelo e a escala natural dos dados GRACE. Essa discussão, de fundamental importância na

modelagem hidrológica (Klemes, 1983; Klemes, 1986; Beven, 1989), raramente é explicitamente apresentada nos estudos hidrológicos, em especial naqueles baseados na modelagem distribuída.

## 6. CONCLUSÕES

Mesmo com as limitações do modelo adotado tornadas evidentes, a modelagem hidrológica simplificada efetuada para a bacia do Negro nas sub-bacias de Serrinha e Caracará pode ser vista como um primeiro passo na modelagem de seu ciclo hidrológico. Segundo o conceito de modelagem descendente (*downward*), conforme definido por Klemes (1983), uma vez que os principais processos hidrológicos na escala da bacia tenham sido satisfatoriamente representados, pode-se tentar aprimorar a modelagem por meio da adição de processos na estrutura do modelo. Naturalmente, esse aumento de complexidade do modelo só faz sentido quando se dispõe de dados para calibração e validação da estrutura de modelagem. Dados obtidos por técnicas de sensoriamento remoto tornam-se a opção natural para o aprimoramento da modelagem hidrológica de grandes bacias, o que torna ainda mais importante que se invista na melhoria da rede de monitoramento convencional, fundamental para a correta interpretação de dados obtidos por sensoriamento remoto.

Mesmo com todas as suas limitações, a comprovação da qualidade dos dados GRACE no que diz respeito à estimativa do comportamento sazonal e inter-anual do armazenamento total em grandes bacias, como mostrado para a bacia Amazônica em Xavier (2012), demonstra que aqueles se constituem em uma promissora fonte de informação hidrológica na grande escala. Como discutido em Guntner (2008) e ressaltado no presente trabalho, o uso dos dados GRACE em estudos hidrológicos pressupõe uma criteriosa avaliação das limitações desses dados com vistas ao seu correto uso na modelagem. Neste ponto, torna-se fundamental que se aprofunde a discussão quanto às diferenças de escala espacial e temporal entre os dados e o modelo adotado.

Ressalta-se que as bacias adotadas, neste estudo, não estavam sujeitas aos efeitos de grandes áreas de inundação, sendo necessário que sejam levados em consideração ao se propor a modelagem de toda a bacia do rio Negro. Dessa forma, deve-se questionar como os efeitos da dinâmica de áreas de inundação e de remanso poderiam ser devidamente representados evitando a parametrização excessiva do modelo. A busca pelo equilíbrio entre a complexidade do modelo e a disponibilidade de dados é uma questão fundamental a ser observada na modelagem de grandes bacias como a Amazônica.

## 7. AGRADECIMENTOS

Inicialmente, ao Programa de Engenharia Civil-COPPE/UFRJ e ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL). Agradecimento especial é direcionado ao projeto CAPES/COFECUB 516/05, que forneceu bolsa de doutorado ao primeiro autor em regime de cotutela para o desenvolvimento de sua tese. Agradecimentos são também dirigidos às agências de fomento FAPERJ e CNPq, que, por meio de suporte aos projetos PEC/COPPE FAPERJ Edital 014/2010 (2010-2012), ao projeto FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e ao projeto FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), bem como aos projetos PROSUL (Edital CNPq Nº 005/2007) e IME-PEC/COPPE – CAPES – Aux-PE-PRO-Defesa 1783/2008 (2008–2012), entre outros, estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática desta pesquisa. Agradecimentos são extensivos à ANA, CPRM, INPE, CNES, ESA, NASA e ORE-HYBAM, que ofereceram suporte para a disponibilização dos dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho e que, em especial, atuam no suporte para a realização de trabalhos na região amazônica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA FILHO, F.G.V., (2009) *Variação temporal do campo gravitacional detectada pelo satélite GRACE : Aplicação na Bacia Amazônica*. Tese de Doutorado, EP/USP, São Paulo, Brasil.

- BEVEN, K. (1989). Changing Ideas in Hydrology - the Case of Physically-Based Models. *Journal of Hydrology* v. 105 pp. 157-172.
- ESCARIÃO, R.D., (2001), *Modelagem hidrológica da bacia do rio Negro na Amazônia*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- FREER, J., BEVEN, K., AMBROISE, B. (1996) Bayesian estimation of uncertainty in runoff prediction and the value of data : An application of the GLUE approach. *Water Resources Research* v. 32 n. 7 pp. 2161-2173.
- FRAPPART, F., SEYLER, F., MARTINEZ, J.M. (2005) Floodplain water storage in the Negro River basin estimated from microwave remote sensing of inundation area and water levels *Remote Sensing of Environment* v. 99 n. 4 p. 387-399.
- FRAPPART, F., CALMANT S., CAUHOPÉ M., *et al.* (2006) Validation of ENVISAT RA-2 derived water levels over the amazon basin, *Remote Sensing of Environment* v. 100 pp. 252-264.
- GETIRANA, A.C.. (2009) *Contribuições da Altimetria Espacial à Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias na Amazônia*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- GÜNTNER, A. (2008) Improvement of global hydrological models using GRACE data. *Surveys in Geophysics* v. 29 pp. 375-397.
- JAKEMAN, A.J., HORNBERGER, G.M. (1993) How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model ? *Water Resources Research* v. 9 n. 8 pp. 2637-2649.
- KITE, G.W., KOUWEN, N. (1992) Watershed modelling using land classifications *Water Resources Research* v. 28 n. 12 pp. 3193-3200.
- KLEMES, V. (1983) Conceptualization and scale in Hydrology. *Journal of Hydrology* v.65 pp. 1-23.
- KLEMES, V. (1986) Dilettantism in Hydrology : Transition or destiny?. *Water Resources Research* v.22 n 9, pp 177S-188S.
- LO, M.-H., FAMIGLIETTI, J.S., YEH, P. J.F. ,*et al.* (2010) Improving parameter estimation and water table depth simulation in a land surface model using GRACE water storage and estimated base flow data. *Water Resources Research* v. 46 W05517.
- LOPES, J.E.G., BRAGA Jr., B.P.F., CONEJO, J.G.L., (1981). Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2, 42-62, Fortaleza.
- MEADE, R.H., RAYOL, J.M., CONCEIÇÃO, S.C., NATIVIDADE, J.R.G. (1991) Backwater effects in the Amazon River basin of Brazil. *Environmental Geology and Water Sciences* v. 18 n. 2 pp. 105-114.
- SILVA, J.S. (2010). *Altimetria Espacial Aplicada aos Estudos de Processos Hídricos em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- WERTH, S., GÜNTNER,A. (2010) Calibration analysis for water storage variability of the global hydrological model WGHM. *Hydrology and Earth System Sciences* v. 14 pp. 59-78.
- XAVIER, L.N.R. (2012) *Modelagem hidrológica com o Aporte de dados da Missão Espacial GRACE: Aplicações a Bacias Brasileiras*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.