

## UTILIZAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS PARA PREVISÃO DE DESASTRES HIDROLÓGICOS NA BACIA DO RIO DOCE

*Anderson Sene Gonçalves<sup>1\*</sup>; Rochane de Oliveira Caram<sup>1</sup>; Graziela Balda Scofield<sup>1</sup>; Márcio Augusto Ernesto de Moraes<sup>1</sup>; Aline Garcia Duarte<sup>1</sup>; Cláudia de Albuquerque Linhares; Javier Tomasella<sup>1</sup>*

**Resumo** - A ocupação desordenada pelas populações em áreas de risco, juntamente com a observação na intensificação de extremos pluviométricos, tem afetado diversos municípios brasileiros com diferentes tipos de desastres hidrológicos, o que é sinônimo de grandes perdas humanas e materiais. Dentre as diversas bacias do território nacional, destacam-se os danos causados pelas águas da Bacia do Rio Doce que provocaram perdas de vidas humanas e estruturais. Esse trabalho propõe a aplicação do Modelo de Grandes Bacias do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para a previsão de vazões, a fim de notificar, com antecedência, a população em área de risco. A comparação das simulações foi realizada usando séries históricas hidrológicas obtidas da rede de observação que representa as variações do ciclo hidrológico. Para avaliar a qualidade dos resultados das simulações, fez-se uso de diferentes funções objetivas. Neste trabalho são apresentados os resultados do processo da calibração do modelo, onde a correlação entre vazão observada e simulada atingiu coeficientes estatísticos aceitáveis. Dessa forma a próxima etapa do trabalho será estabelecer a conexão com um modelo de previsão de tempo, para alimentar o modelo hidrológico com precipitação, e assim a previsão de vazão pode ser realizada com horizonte igual ao fornecido pelo modelo atmosférico.

**Palavras-Chave** - Modelo Hidrológico. Previsão de desastres hidrológicos. Vazão.

## USE OF HYDROLOGICAL MODEL THE BASIN LARGE FOR STREAMFLOW FORECASTING IN DOCE WATERSHED RIVER

**Abstract** - The occupation by populations in risk areas, and observation in intensified rainfall extremes, has affected many municipalities with different types of hydrological disasters, meaning great human and material losses. Among the various Brazilian Rivers basins, highlight the damage caused by the waters from Rio Doce basin that caused losses of human life and structural. This work proposes the application of the Big Basins Model of the National Institute for Space Research for discharge forecasting in order to notify in advance the population at risk area. The simulations comparison was performed using historical data obtained from the hydrological observation network that represents the variations of the hydrological cycle. To evaluate the quality of the simulation results, it was used different objective functions. This paper presents the calibration results from the model, where the correlation between observed and simulated discharge showed statistical coefficients acceptable. The next stage of work will focus in a numerical weather forecasting model to feed the hydrological model with precipitation, and thus the prediction of discharge can be performed with a lead time in order of days.

**Keywords** - Hydrological Model. Forecast of hydrological disaster. Streamflow.

---

<sup>1</sup> Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - {anderson.sene; rochane.caram; graziela.scofield; marcio.moraes; aline.duarte; claudia.linhares; javier.tomasella}@cemaden.gov.br

## INTRODUÇÃO

Devido à ocupação desordenada de áreas de risco e aumento da precipitação, diversos municípios brasileiros têm sido vítimas de diferentes tipos de desastres hidrológicos, o que é sinônimo de grandes perdas materiais e, principalmente, perdas humanas.

Assim, entre as diversas bacias do território nacional, salientam-se os danos materiais e humanos causados pelas águas da Bacia do Rio Doce. No contexto histórico, pode-se verificar a ocorrência de severos desastres hidrológicos, como os ocorridos em Governador Valadares-MG (1979), Colatina-ES (1997) e Ponte Nova-MG (2008). De acordo com os documentos do Banco de Dados de Registros de Desastres (Defesa Civil Brasil), o município desta bacia mais atingido por desastres hidrológicos é Governador Valadares-MG, devido às enchentes ocorridas em: fevereiro de 1979, janeiro de 1985 e 1997, março de 2005 e dezembro de 2008. Por essa razão, este município faz parte dos municípios monitorados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (Cemaden).

Neste sentido, a fim de reduzir perdas humanas futuras, salienta-se a importância de um sistema de previsão de vazão operado pelo Cemaden para a bacia do Rio Doce, capaz de anteceder possíveis desastres hidrológicos e alertar a população residente nas áreas de riscos. Considerando as frequentes enchentes na bacia do rio Doce, este estudo tem por objetivo ajustar o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Espaciais (MGB-INPE) para posteriormente seu uso na previsão de vazões na bacia do rio Doce.

## DADOS E METODOLOGIA

Situada na região sudeste, a bacia do Rio Doce (Figura 1) compreende uma área de 83.400km<sup>2</sup>, abrangendo 86% em Minas Gerais (na região centro-leste) e 14% no Espírito Santo (centro-norte), banhando dois estados, total ou parcialmente, 208 e 26 municípios, respectivamente, o que representa 853 km da nascente até a foz no município de Linhares-ES. O Rio Doce é composto pelos rios Piranga e Carmo, cujas nascentes estão situadas nas encostas das serras da Mantiqueira e Espinhaço, respectivamente. Os principais afluentes da bacia do Rio Doce são: na margem esquerda, os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo e na margem direita, os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhuaçu, em Minas Gerais, e Guandu, no Espírito Santo.

A bacia em estudo apresenta precipitação média anual de 900 mm na região da cidade de Aimorés-MG e, nas nascentes localizadas nas serra da Mantiqueira e Espinhaço, a precipitação aumenta para 1500 mm com o consecutivo aumento na direção do litoral (CBH-DOCE, 2006).

A fim de aplicar um modelo matemático capaz de representar o ciclo hidrológico da bacia Rio Doce, utilizou-se o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB), originalmente desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), e, posteriormente, modificado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O MGB-INPE é uma versão modificada das rotinas de estimativa de evaporação e de separação de fluxos (Tomasella *et al*, em fase de elaboração; Rodriguez, 2011). A parametrização do MGB-IPH original utiliza a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (Zhao, 1992; Zhao e Liu, 1995). Já o MGB-INPE combina a formulação probabilística com os princípios utilizados no TOPMODEL (Beven e Kirkby, 1979) para simular a resposta hidrológica. Ambas as metodologias correlacionam a resposta hidrológica da bacia com padrões de auto-organização observados na grande escala, seguindo uma abordagem *downward*. A resposta hidrológica é representada dentro de cada célula

utilizando uma distribuição probabilística de reservatórios de diferentes capacidades. A posição do nível freático é calculada no modelo como uma proporção da quantidade d'água em excesso sobre a capacidade de campo em cada reservatório, seguindo a formulação do modelo DHSVM (Wigmosta *et al.*, 2002). A perda d'água por interceptação é representada no modelo por meio da metodologia proposta por Gash *et al.*, (1995). A captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989).

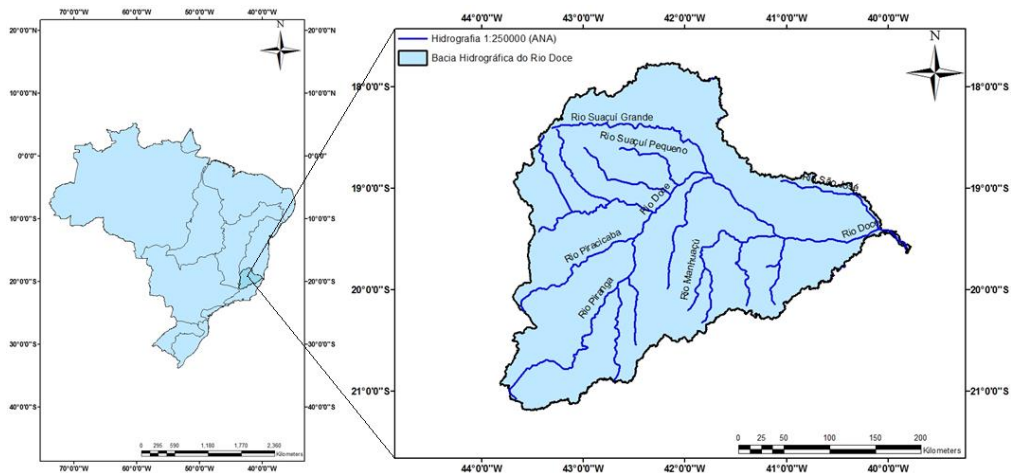


Figura 1 - Bacia Hidrográfica do rio Doce

A utilização do MGB-INPE requer o preparo de diversas informações que são utilizadas como dados de entrada. Uma das etapas preliminares consiste na delimitação da bacia em estudo, a partir do Modelo Numérico de Terreno (MNT), em que cada elemento (x, y) da grade regular está associado a um valor de elevação do terreno. O MNT de resolução espacial de 90m da bacia do Rio Doce foi adquirido do *Shuttle Radar Topographic Mission*<sup>2</sup> (SRTM), conforme ilustrado na Figura 2-(a).

Após a aquisição do MNT de alta resolução extraiu-se a direção de fluxo (LDD) e, a partir deste, o LDD de baixa resolução (5km), apresentado na Figura 2-(b). Vale salientar que as direções de fluxos apresentam, em raros casos, apontamentos para um mesmo caminho, o que resulta em um ciclo. Nesses casos, realizaram-se as devidas correções ao longo da bacia. Além disso, o MGB-INPE utiliza a bacia discretizada em células regulares, de acordo com a versão original (Collischonn, 2001), e neste estudo, optou-se por células quadráticas de 5 km, conforme ilustrado na Figura 2-(a). Além da direção de fluxo, a partir do MNT, obtiveram-se as seguintes informações: área acumulada, drenagem, delimitação das sub-bacias, extração da declividade e comprimento dos trechos do rio.

Foram identificados 58 postos fluviométricos providos da Agência Nacional de Águas (ANA) localizados no interior da bacia do Rio Doce. As séries históricas destes postos foram analisadas no período de 01 de janeiro 2001 a 31 de dezembro de 2011, a fim de avaliar a qualidade dos dados. Após esta análise, optou-se por utilizar 20 postos fluviométricos, conforme ilustrados na Figura 2-(c). Com a definição dos postos, realizou-se a delimitação das sub-bacias (Figura 2-(c)), uma vez que se utilizam as informações de vazões dos postos para avaliar a qualidade do ajuste do modelo, comparando-se os dados de vazões observadas e simuladas.

<sup>2</sup> Disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org>

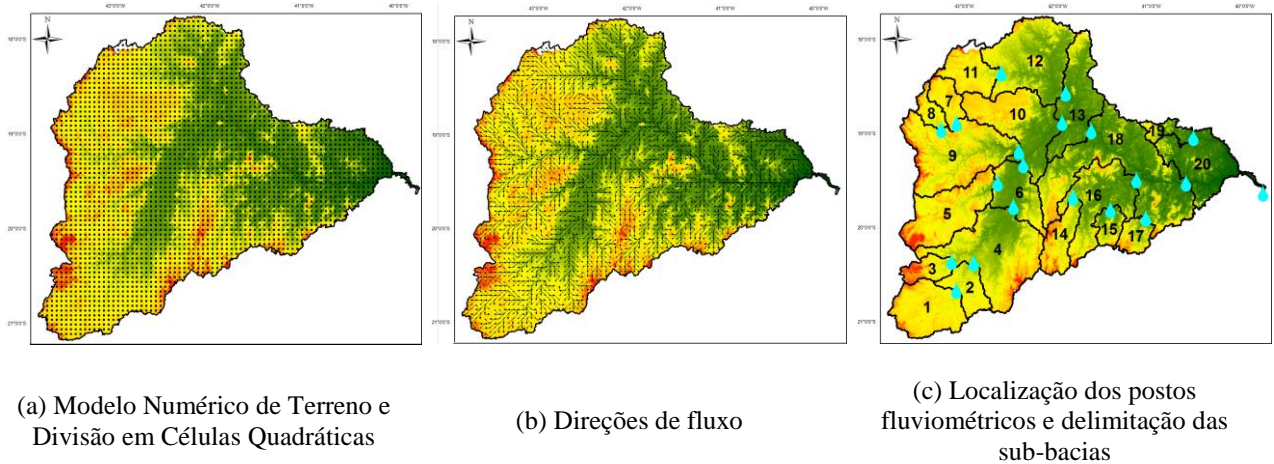


Figura 2 - Delimitação da Bacia do Rio Doce

Após a delimitação das sub-bacias, fez-se a comparação das áreas de drenagem dos postos fluviométricos da ANA com as áreas de drenagem das sub-bacias de alta e baixa resolução delimitadas neste estudo. Nesta análise, os valores das áreas das sub-bacias delimitadas foram considerados aceitáveis, uma vez que as diferenças foram inferiores a 10%. Ressalta-se que a maior diferença ocorreu na sub-bacia 19 (Barra de São Gabriel) em que a diferença foi 12.8%.

Destaca-se a existência de Usinas Hidrelétricas (UHE) instaladas ao longo da bacia do Rio Doce, o que pode influenciar as vazões observadas nos postos fluviométricos, e nestes casos, utilizam-se dados de vazões naturalizadas disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A fim de verificar a influência das UHEs, as vazões naturalizadas foram comparadas com as vazões observadas da ANA, conforme apresentado na Figura 3. Com base nesta análise, pode-se afirmar que, em geral, as UHEs não afetam, diretamente, os dados dos postos fluviométricos utilizadas neste trabalho.

O MGB-INPE utiliza diversos parâmetros relacionados à vegetação, o solo e o escoamento em canais. Com base no grau de incerteza e a sensibilidade do modelo, consideraram-se muitos destes parâmetros fixos, enquanto outros foram considerados na calibração do modelo, como, por exemplo, transmissividade máxima de referência e espessuras das camadas do solo, respectivamente.

O MGB-INPE necessita de informações diárias de precipitação, temperatura, umidade do ar, velocidade do vento, radiação solar e pressão atmosférica. Esses dados são ministrados no modelo em forma de grade, com a mesma discretização da bacia. Neste sentido, utilizaram-se as informações existentes na base de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), uma vez que este realiza a coleta de informações meteorológicas provenientes de diferentes centros estaduais, federais e da iniciativa privada no Brasil, tais como Cargill, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Assim, realizou-se a interpolação dos dados diários sobre a bacia na grade de resolução de simulação do modelo hidrológico (5 km), por meio do método do inverso do quadrado da distância (Collischonn *et al.* 2005; Tucci *et al.* 2003; Mello *et al.* 2003), para o período de calibração de 01 de janeiro 2001 até 31 de dezembro de 2011.

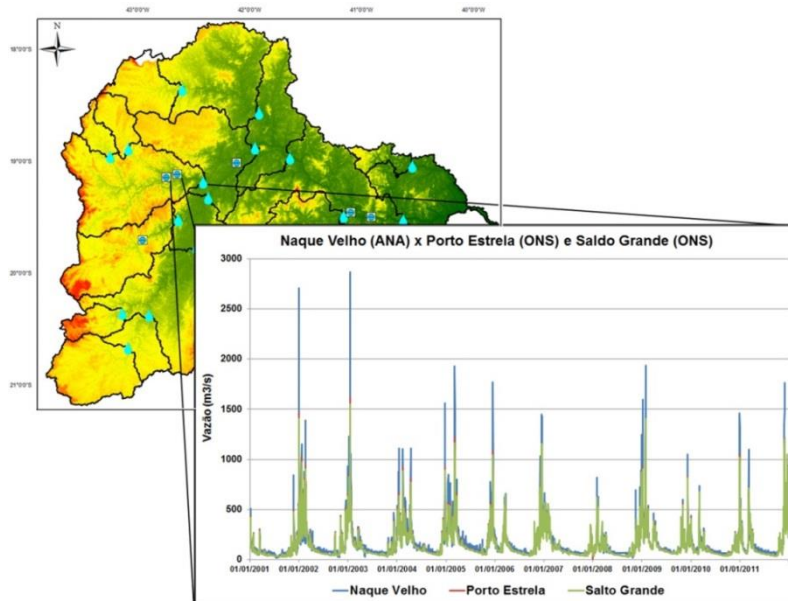


Figura 3 - Comparação das vazões naturalizadas das UHEs de Porto Estrela e Salto Grande com as vazões observadas do posto fluviométrico de Naque Velho

No MGB-INPE cada célula da bacia está dividida em blocos de uso do solo, que resultam da combinação dos mapas de tipos dos solos (EMBRAPA, 1999) e vegetação referente ao projeto Proveg (Sestini, 2002), ilustrados na Figura 4 e Figura 5, respectivamente. O modelo utiliza como informação as percentagens de cada tipo de bloco dentro da célula, para compor os fluxos totais na célula por meio de uma média ponderada por estas percentagens.

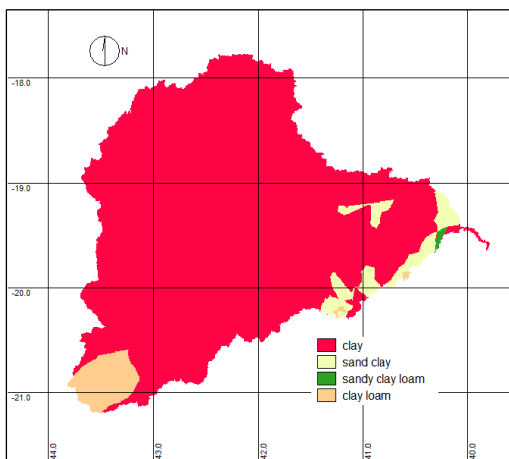


Figura 4 - Mapa de solo (EMBRAPA, 1999)

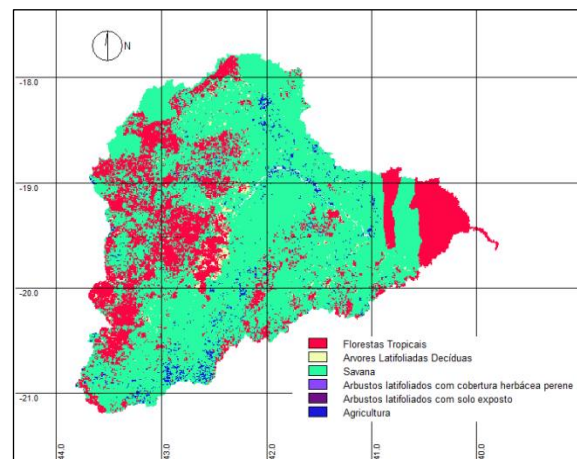


Figura 5 - Mapa de Vegetação (Sestini, 2002)

A calibração do MGB-INPE consiste em realizar, manualmente, ajustes nos parâmetros que caracterizam o comportamento hidrológico de bacia (Tucci, 1998), a fim de obter a melhor representatividade do ciclo hidrológico. Para avaliar a qualidade da calibração foram consideradas as seguintes funções objetivas: Coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões diárias (Nash), coeficiente de correlação das vazões (R2), Coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões diárias (R2Log) e Erro de Volume ( $\Delta V$ ).

## RESULTADOS E ANÁLISES

A calibração do modelo foi realizada de acordo com os postos fluviométricos selecionados neste estudo, logo, foram obtidos hidrogramas para todas as 20 sub-bacias delimitadas da bacia do rio Doce. Neste trabalho, optou-se por apresentar os resultados obtidos para as sub-bacias: 3 (Acaiaca Jusante), 10 (Governador Valadares) e a 18 (Colatina), ilustradas, respectivamente, na Figura 6. De um modo geral, a vazão simulada pelo modelo representa satisfatoriamente os dados observados, em que se observa representação da sazonalidade do ciclo hidrológico e satisfatório ajuste nas vazões mínimas. Entretanto, notam-se algumas deficiências no ajuste para alguns picos de vazão. Em relação aos extremos máximos, observa-se que o MGB-INPE consegue representar quase todos os picos, embora a amplitude de alguns não seja similar. Os valores dos coeficientes obtidos para todas as sub-bacias foram satisfatórios. Ressalta-se ainda, que os melhores resultados das funções objetivas foram alcançados pela sub-bacia 18 – Colatina, em relação às demais sub-bacias.

O posto fluviométrico da sub-bacia 10 localiza-se no município de Governador Valadares-MG, que sofreu muitas enchentes nos últimos 10 anos (2001 a 2011) de acordo com os documentos do Banco de Dados de Registros de Desastres. As enchentes registradas em Março de 2005 e Dezembro de 2008 podem ser observadas na Figura 6. Nota-se que para a enchente de Março de 2005 o modelo consegue simular a mesma vazão observada, entretanto, no evento de Dezembro de 2008 o modelo subestima o pico de vazão.

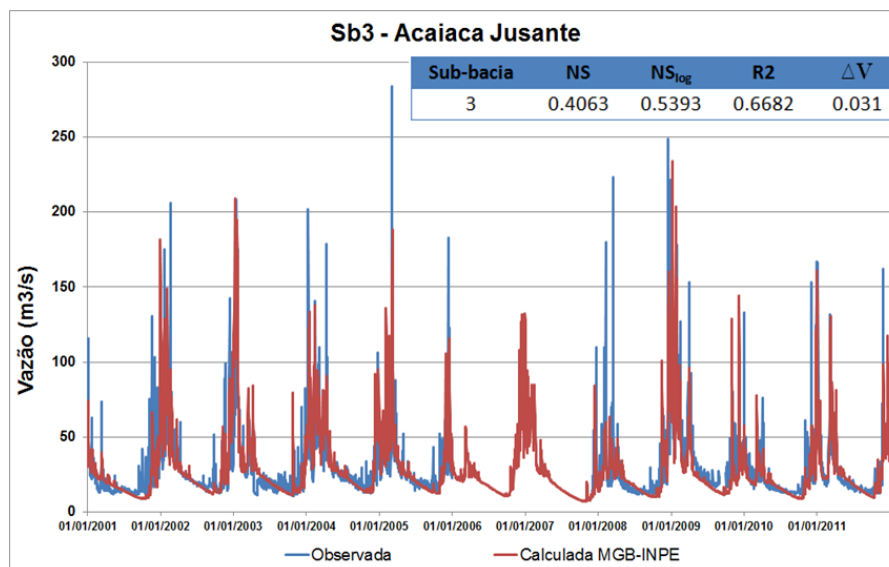


Figura 6 - Hidrogramas diários das vazões (observada e simulada) dos postos fluviométricos das sub-bacias 3, 10 e 18, respectivamente

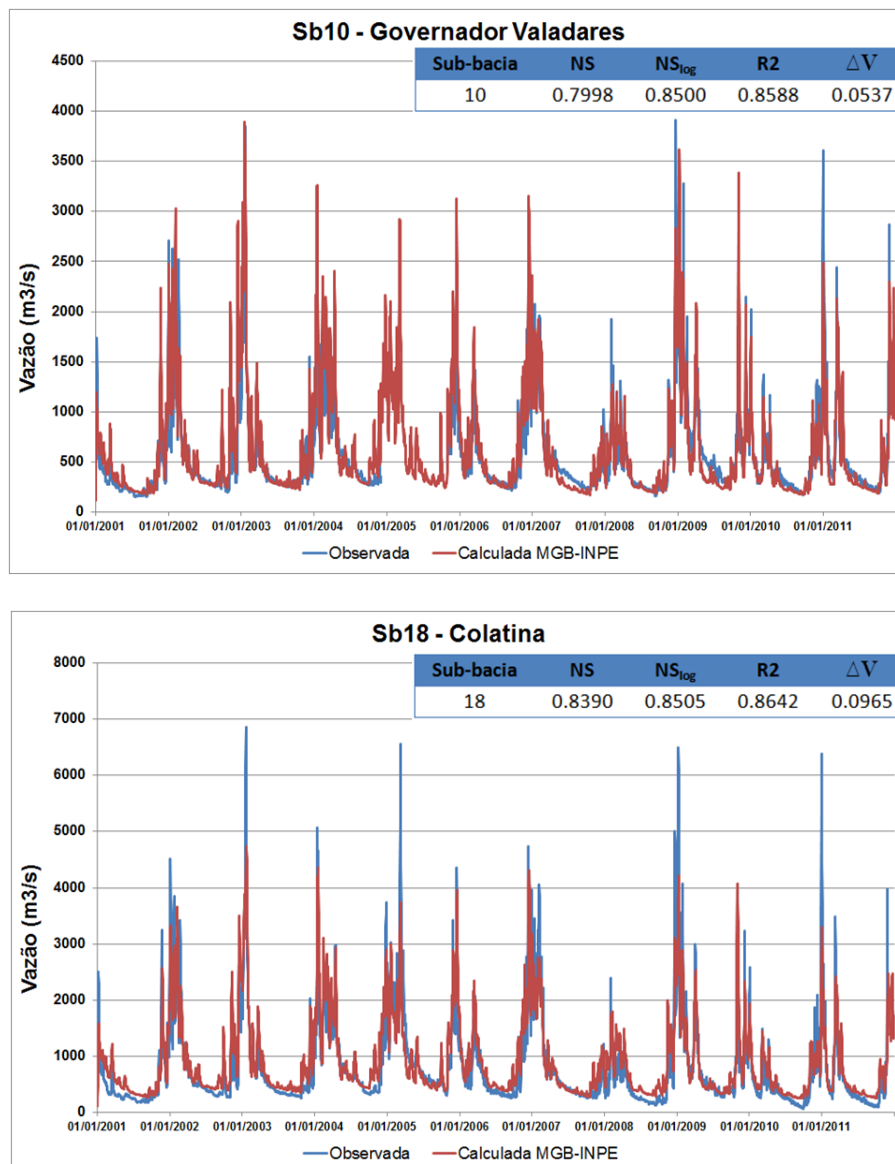


Figura 7 (continuação) - Hidrogramas diários das vazões (observada e simulada) dos postos fluviométricos das sub-bacias 3, 10 e 18, respectivamente

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do MGB-INPE à bacia do rio Doce, até o momento, apresentou resultados satisfatórios, indicando que o modelo pode ser aplicado à bacia, e ainda, que pode ser utilizado para previsões de vazões, com o intuito de prever possíveis desastres hidrológicos.

Os resultados alcançados pela calibração do MGB-INPE sugerem que, embora alguns picos de vazão não estão devidamente representados, as vazões simuladas estão similares as observadas. Entretanto, para o seu uso na previsão de vazões são necessários correções na calibração e nas condições iniciais no modelo para obter melhores resultados nos picos de vazões. Logo, espera-se que a continuidade desta pesquisa, possibilite obter *uma* ferramenta para a mitigação e alertas de desastres naturais para o Cemaden, a fim de ser utilizada na bacia do rio Doce e em outras bacias hidrográficas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Cemaden e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (402240/2012-0) pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J (1979). A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, v. 24, pp. 43-69.
- CBH-DOCE: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (2006), Agência Nacional das Águas.
- COLLISCHONN, W. (2001). *Simulação hidrológica em grandes bacias*. Porto Alegre: UFRGS, 194p. Tese Doutorado.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; DIAS, P. L. S.; SAMPAIO, G. (2005). Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 2: Previsão Climática-Hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), vol. 10, n. 4, pp. 61- 72.
- EMBRAPA. (1999). - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- GASH, J.H.C., LLOYD, C.R., LACHAUD, G., (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *J. Hydrol.* 170, 79±86.
- JARVIS, N.J. (1989). A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, v. 107, p. 57-72.
- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. (2003) Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da Equação de chuvas intensas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, pp. 925-933.
- RODRIGUEZ, D. A. (2011). *Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica*. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- SESTINI, M. F. (2002) *Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos*. São José dos Campos: INPE.
- TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos hidrológicos*. ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 669 p.
- TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W.; ANDREOLLI, I. (2003). Previsão de vazões de curto e médio prazo na operação de usinas hidrelétricas. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Tractebel Energia S.A., *Relatório Técnico*, P&D.
- WIGMOSTA, M.S.; NIJSSEN, B.; STORCK, P.; LETTENMAIER, D.P. (2002) The Distributed Hydrology Soil Vegetation Model, In: Singh, V.P.; Frevert, D.K. (Ed.) *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Littleton, CO: Water Resource Publications, p. 7-42.
- ZHAO, R.J. (1992). The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, v. 135, pp. 371-381.
- ZHAO, R.J. AND LIU, X.R. (1995). The Xinanjiang model. In: Singh, V.P. (Ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch: Water Resources Publication. pp. 215-232.