

A PREVISÃO DE VAZÃO EM CURTO PRAZO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ ATRAVÉS DO ACOPLAMENTO UNIDIRECIONAL ENTRE MODELOS

Mahelvson Bazilio Chaves¹; Paulo Antonio Ferreira Freire¹; Carlos Ruberto Fragoso Junior² & Rosiberto Salustiano da Silva Junior³

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do acoplamento entre um modelo de circulação atmosférica (WRF) e um modelo hidrológico distribuído (MGB) com a finalidade de realizar previsão de vazão em curto prazo, em modo operacional, na bacia do rio Mundaú, localizada entre os estados de Alagoas e Pernambuco. Foram realizadas simulações a partir de três anos de dados do modelo de circulação atmosférica e as vazões correspondentes foram comparadas em três postos fluviométricos ao longo da bacia hidrográfica. A análise das funções objetivo mostrou que a metodologia apresentou resultados satisfatórios, podendo ser empregada por exemplo em sistemas de alerta.

Palavras-Chave – previsão de vazão, cheias, Mundaú.

THE SHORT-TERM FLOW FORECASTING IN MUNDAÚ RIVER BASIN USING ONE WAY COUPLED MODELS

Abstract – The aim of this paper was to evaluate the performance coupling a mesoscale atmospheric model (WRF) and a distributed hydrological model (MGB) for short-term flow forecasting, operationally, at the Mundaú River basin. Simulations were performed over three years and the simulated flows were compared in three flow gauging stations located along the basin. This coupling showed promising results for using in flood warning systems.

Keywords – flow forecasting, flood, Mundaú.

INTRODUÇÃO

A previsão de vazão é parte importante da gestão de recursos hídricos por permitir antecipar eventos de cheias e secas, e assim evitar desastres, quando estas informações são divulgadas aos setores governamentais corretos e em tempo hábil. A previsão de vazão pode ser realizada em curto prazo, com antecedência de até alguns dias, ou em longo prazo, com antecedência de meses. Usualmente a previsão de curto prazo é utilizada para gestão de cheias e, conseqüente, inundações, possuindo também em outras aplicações, como previsão de níveis para navegação, disponibilidade hídrica para irrigação, abastecimento de água e operação energética (Tucci, 2009).

Os recentes eventos extremos de clima têm demonstrado a necessidade de sistemas de previsão de inundação mais confiáveis, já que os altos custos econômicos de medidas estruturais de prevenção, juntamente com a possibilidade de falha destes sistemas, tornam a população vulnerável (Kneebly et al., 2005). A previsão de cheias deve fazer parte do gerenciamento operacional durante eventos de inundação, de maneira que, junto às áreas de risco identificadas ou previstas para inundação, possam determinar a inclusão de mecanismos de defesa temporários (comportas ou barreiras desmontáveis), proteção doméstica (sacos de areia) e de evacuação (abrigos) (WMO, 2011).

¹ Discentes e ²Docente do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas - mbchaves@yahoo.com.br ; pa.freire@yahoo.com; crubertojf@hotmail.com

³ Docente do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas - rosibertojr@gmail.com

A capacidade de prever descargas e/ou níveis em tempo real requer o conhecimento de diversas variáveis e parâmetros que antecedem o escoamento em uma seção de interesse. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a previsão de vazão de curto prazo (antecedência de um dia) obtida pelo acoplamento de um modelo de circulação atmosférico à um modelo hidrológico distribuído na bacia do rio Mundaú.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Mundaú, que abrange 30 municípios dos estados de Pernambuco (PE) e Alagoas (AL) (Figura 1). A bacia possui uma área de 4.126 km², onde 2.155 km² estão sob o domínio do estado de Pernambuco e os 1.971 km² restantes pertencem ao estado de Alagoas. Os municípios ribeirinhos inseridos nesta bacia foram vitimados com recorrentes cheias nos últimos 40 anos (1969, 1988, 1989, 2000 e 2010), as quais praticamente destruíram cidades inteiras, como, por exemplo, o município de Branquinha - AL em 2010.



Figura 1 - Bacia hidrográfica do rio Mundaú.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para previsão de vazão a curto prazo - com um dia de antecedência na bacia do rio Mundaú - consiste no acoplamento unidirecional entre um modelo de circulação atmosférica e um modelo hidrológico distribuído. As principais ferramentas utilizadas são descritas brevemente nos tópicos a seguir.

Weather Research and Forecast Model

O modelo WRF foi utilizado para a previsão quantitativa de precipitação neste trabalho. Este modelo é o produto de um projeto desenvolvido por diversas instituições mundiais ligadas a meteorologia. Trata-se de um modelo de previsão em mesoescala (regional) que representa um avanço na previsão de precipitação, além de promover a aproximação entre a pesquisa e a operacionalização para previsão pela comunidade técnica (Michalakes et al., 1999). O WRF oferece uma diversidade de opções físicas, além de sistemas avançados de assimilação de dados. Pode ser usado em aplicações de diferentes escalas espaciais, desde alguns metros até milhares de quilômetros (Blainski et al., 2009).

A versão do modelo utilizada foi a WRF 3.2, com uma parametrização para resolução de 5 x 5 km (i.e. downscaling), onde foram realizadas simulações diárias para o período de 01/01/2008 a 31/12/2010. A Figura 2 ilustra a discretização do modelo WRF sobre a área de estudo.

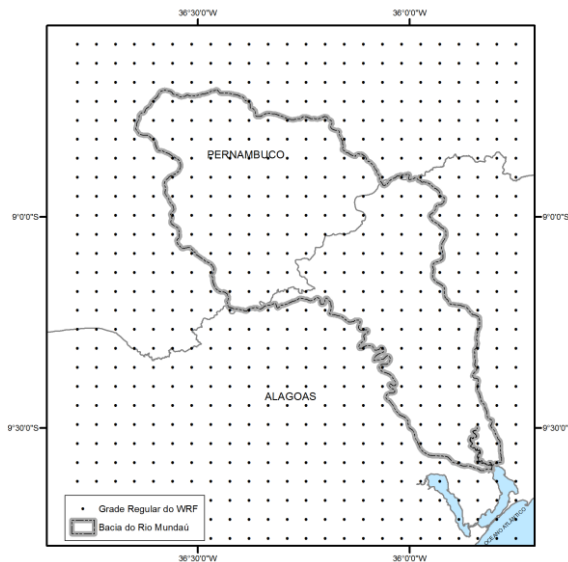


Figura 2 - Discretização do modelo WRF sobre a área de estudo.

Modelo de Grandes Bacias

O modelo hidrológico utilizado no estudo é o denominado Modelo de Grandes Bacias MGB, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) por Collischonn (2001). O MGB é um modelo distribuído desenvolvido para aplicações eficazes em bacias de diversos tamanhos, sobretudo para áreas superiores a 10.000 km² (grandes bacias). A versão de discretização sub-bacias permite a aplicação do modelo em bacias de médio porte (entre 2.000 e 10.000 km²), dependendo da frequência do registro da chuva (horária ou diária) e do tempo de concentração da bacia.

O equacionamento do modelo é baseado em relações físicas já consagradas na literatura. O módulo de balanço de água no solo foi baseado na geração de escoamento superficial por excesso de capacidade de armazenamento, sendo simplificado pela consideração de uma relação estatística entre a umidade do solo e a fração de área de solo saturada. O módulo de evapotranspiração foi desenvolvido de acordo com o método de Penman – Monteith descrito por Shuttleworth (1993) e Wigmosta et al. (1994), e a metodologia de Muskingum-Cunge, na forma descrita por Tucci (2002) foi utilizada para o escoamento na rede de drenagem (Collischonn, 2001).

A versão do modelo MGB-IPH utilizada neste trabalho é a discretização em minibacias, formadas a partir de um modelo digital de elevação com base em dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) utilizando-se ferramentas de um software de geoprocessamento. Cada minibacia pode conter diversos tipos de uso e cobertura do solo, definidos com base no conceito de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) (Grouped Response Unit – GRU), descrito por Kouwen et al (1993) e citado por Collischonn (2001).

A bacia foi subdividida em 95 minibacias para os cálculos de armazenamento e translação e o uso e cobertura do solo foi caracterizado com base em um mosaico de imagens do satélite Landsat 5, sensor TM. Os dados hidrológicos utilizados consistem em informações diárias de 97 postos pluviométricos e 3 postos fluviométricos. O período de 1998 a 2007 foi usado para a calibração do modelo, enquanto o período de 2008 a 2010 foi utilizado para a sua validação. Os inventários dos postos pluviométricos e fluviométricos podem ser obtido em Oliveira (2010) e na Tabela 1.

Tabela 1- Inventários dos postos fluviométricos.

Posto	Código	Município	Área de drenagem (km ²)
União dos Palmares (ANA)	39740000	União dos Palmares	2900
Murici-Ponte (ANA)	39760000	Murici	3290
Fazenda Boa Fortuna (ANA)	39770000	Rio Largo	3560

Calibração e validação do modelo hidrológico

A verificação da eficiência do modelo foi realizada em cada um dos três postos fluviométricos. Inicialmente foram atribuídos valores médios aos parâmetros calibráveis, descritos em Collischonn (2001), e que foram base para a calibração automática através do algoritmo MOCOM-UA (*Multiple Complex Evolution Algorithm – University of Arizona*) já incorporado ao código do MGB tomando como funções objetivo os coeficientes R^2 , R_{log} e ΔV . O algoritmo foi configurado para obter 50 combinações de valores considerados bons, tendo como referência as funções objetivo mostradas anteriormente, num total de 500 tentativas. Foram utilizados dados de precipitação do período 01/01/1998 a 31/12/2007 para ajuste do modelo e dados de 01/01/2008 a 31/12/2010 para a validação.

Operacionalização e avaliação do acoplamento

O acoplamento foi realizado de forma operacional, de maneira que para obter um novo valor de vazão prevista com um dia de antecedência era criado um arquivo de entrada com precipitação combinada, o qual consiste em uma série de precipitação com três anos de precipitação observada e a precipitação prevista do dia seguinte realizada pelo modelo atmosférico WRF. O procedimento foi repetido para todos os dias do período de simulação.

Para realização do procedimento de geração de arquivos de entrada e simulação de todos os dias do período de simulação foi elaborada uma ferramenta com interface gráfica em ambiente Delphi, diminuindo os riscos de erros sistemáticos ao realizar simulações e tratamento de dados manualmente. A Figura 4 apresenta a interface gráfica utilizada no acoplamento entre o modelo WRF e o MGB. Esta ferramenta tem como principais funcionalidades: realizar a interpolação da malha de dados do modelo WRF para a posição dos pluviômetros já existentes; gerar os arquivos de precipitação para entrada no modelo utilizando dados observados e dados de precipitação do modelo WRF; gerar arquivos de entrada que correspondem ao período de simulação do MGB.

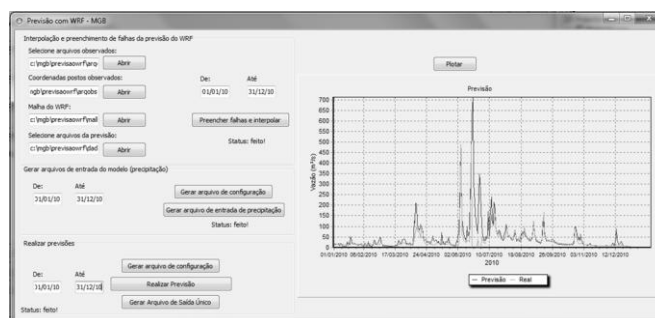


Figura 3 - Interface gráfica para a operacionalização do acoplamento.

A eficiência da aplicação do modelo hidrológico, tanto para simulação quanto para previsão foi avaliada verificando no posto fluviométrico Fazenda Boa Fortuna os valores dos coeficientes de Nash, do coeficiente de Nash com os logaritmos das vazões e da relação entre volumes medidos e calculados, que podem ser obtidos a partir das Equações 1,2 e 3, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{it} (Q_{obs}(t) - Q_{calc}(t))^2}{\sum_{t=1}^{it} (Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (1)$$

$$R_{log} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{it} (\log(Q_{obs}(t)) - \log(Q_{calc}(t)))^2}{\sum_{t=1}^{it} (\log(Q_{obs}(t)) - \log(\bar{Q}_{obs}))^2} \quad (2)$$

$$\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^{it} (Q_{calc}(t)) - \sum_{t=1}^{it} (Q_{obs}(t))}{\sum_{t=1}^{it} (Q_{obs}(t))} \quad (3)$$

onde: Q_{obs} (m^3/s) é a vazão observada e Q_{calc} (m^3/s) é a vazão calculada pelo modelo hidrológico. O coeficiente de Nash é utilizado frequentemente para medir a performance dos modelos, em especial por avaliar a representação dos picos dos hidrogramas pelo modelo (Collischonn, 2001), enquanto que o coeficiente de Nash para o logaritmo das vazões é conhecido pela capacidade de avaliar a recessão dos hidrogramas. Valores conhecidos como satisfatórios para estas funções são os acima de 0,7.

RESULTADOS

A Figura 4 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, o hidrograma do ano 2000 para os postos fluviométricos avaliados e os valores das funções objetivo encontradas na etapa de calibração.

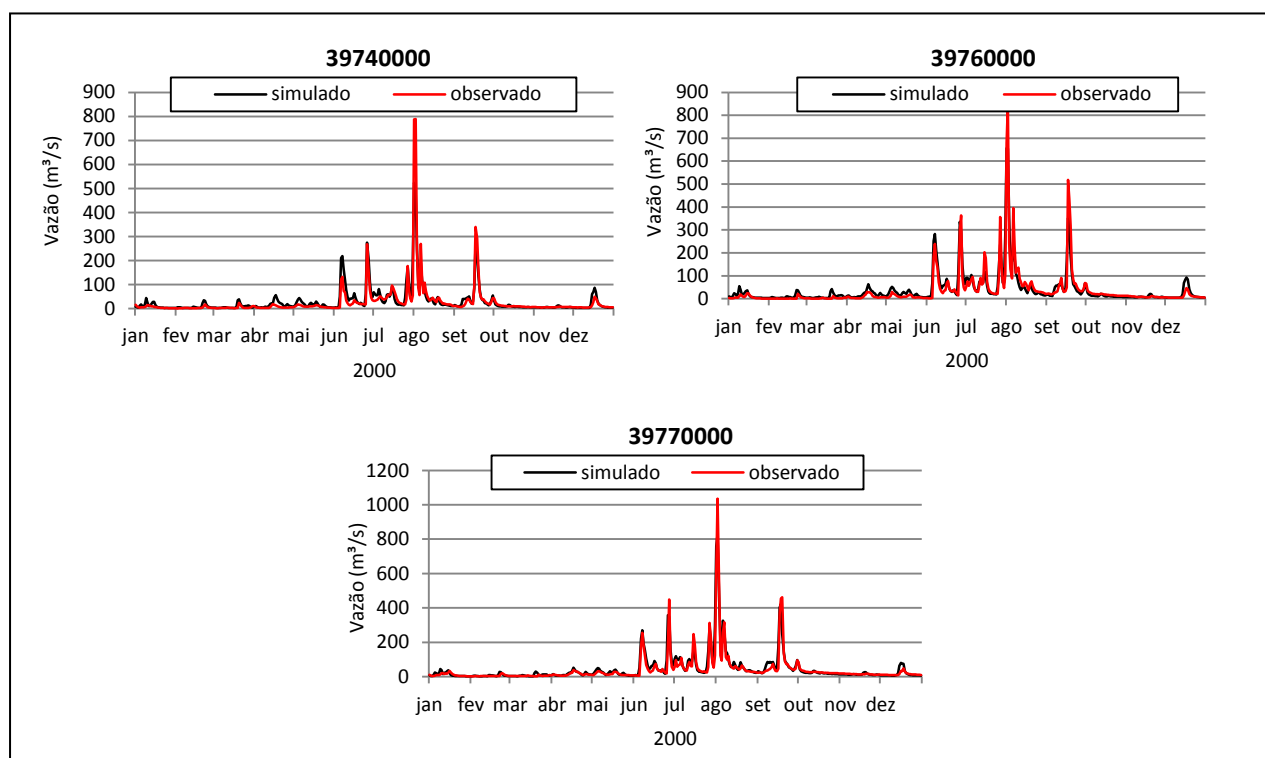


Figura 4 - Hidrograma de um ano do período de calibração para os postos 39740000, 39760000 e 39770000.

Tabela 2 - Valores das funções objetivo encontradas no período de calibração.

Posto	Código	R^2	R_{log}	ΔV	Área de drenagem (km^2)
União dos Palmares (ANA)	39740000	0,77	0,78	0,21	2900
Murici-Ponte (ANA)	39760000	0,82	0,72	0,13	3290
Fazenda Boa Fortuna (ANA)	39770000	0,88	0,78	0,04	3560

Observa-se que existe uma melhora considerável em todos os valores das funções objetivo com o aumento da área de drenagem de cada posto fluviométrico, principalmente no posto da Fazenda de Boa

Fortuna que apresenta tempo de concentração superior a um dia (i.e. tempo superior ao intervalo do dado de chuva). Este mesmo padrão se repetiu também para o período de validação, que é apresentado na Figura 5 e Tabela 3. Nas Figura 6 e Tabela 3 são apresentadas as curvas de permanência do período de validação.

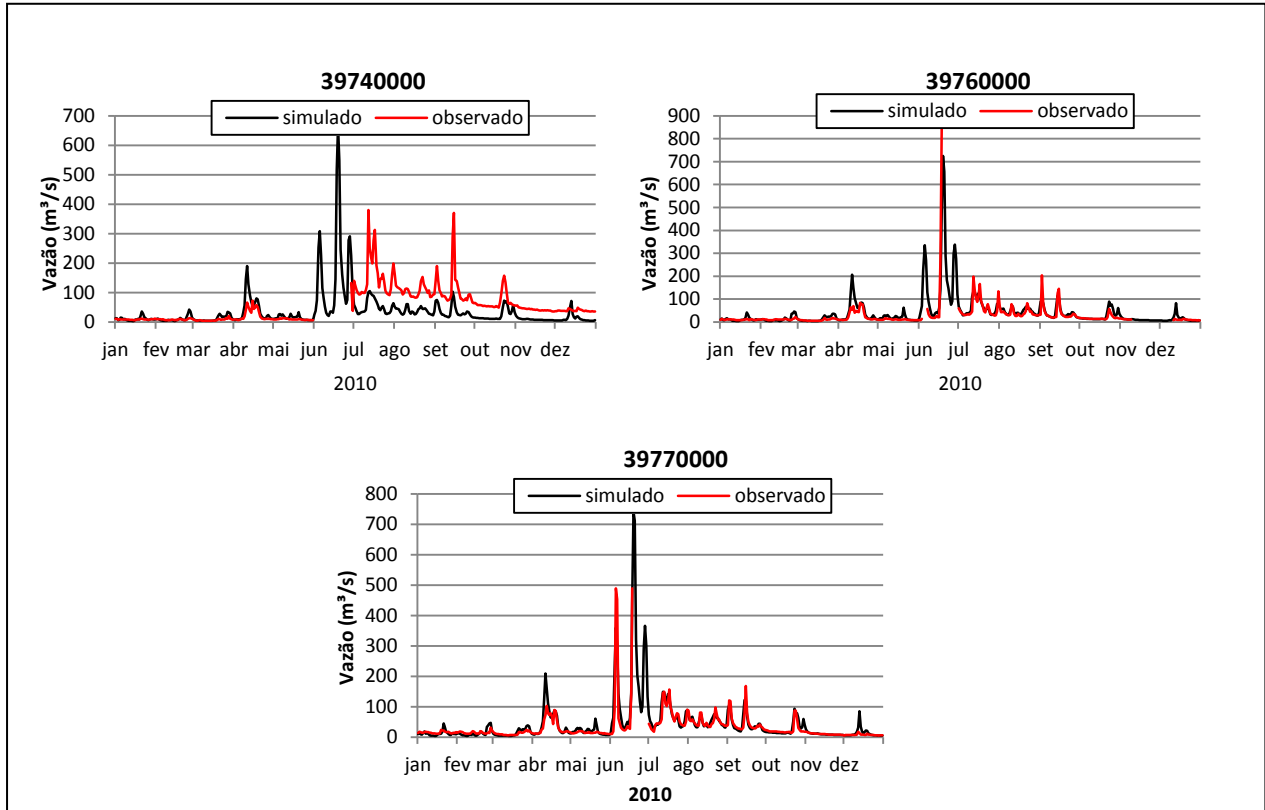


Figura 5 - Hidrograma de um ano do período de validação para os postos XXX.

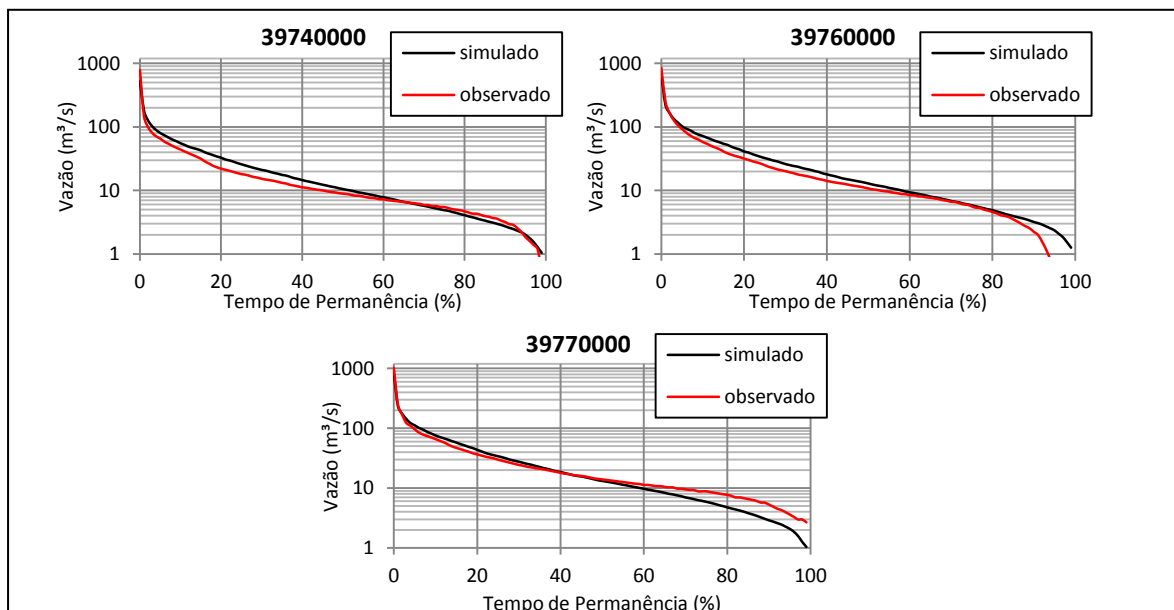


Figura 6 - Curvas de permanência de toda a série utilizada na calibração e validação.

Tabela 3 - Valores das funções objetivo encontradas no período de validação.

Posto	Código	R ²	Rlog	ΔV	Área de drenagem (km ²)
União dos Palmares	39740000	0,42	0,58	0,08	2900
Murici-Ponte	39760000	0,70	0,69	-0,20	3290
Fazenda Boa Fortuna	39770000	0,96	0,82	-0,03	3560

Observando os valores das funções objetivo, percebe-se que o modelo apresentou bons resultados no período de calibração. Contudo, no período de validação houve uma queda significativa dos valores das funções objetivo do modelo, exceto para o posto Fazenda de Boa Fortuna. De forma geral, as etapas de calibração e validação apresentaram uma tendência de subestimativa das vazões maiores que a Q60% para os postos União dos Palmares e Murici-Ponte e maiores que a Q50% no posto Fazenda Boa Fortuna e que pode ser observado através das curvas de permanência da Figura 6. Apesar do aumento do número de pluviômetros na cabeceira das bacias, em especial após o ano de 2006, muitos dos pluviômetros utilizados apresentavam falhas no período de validação.

Previsão de vazão

O acoplamento foi realizado para realizar previsões operacionalmente com um dia de antecedência. A Figura 7 e Tabela 4 apresentam respectivamente os hidrogramas de previsão (apenas do ano de 2010 para facilitar a visualização) e os valores das funções objetivo (para o período 2008 - 2010).

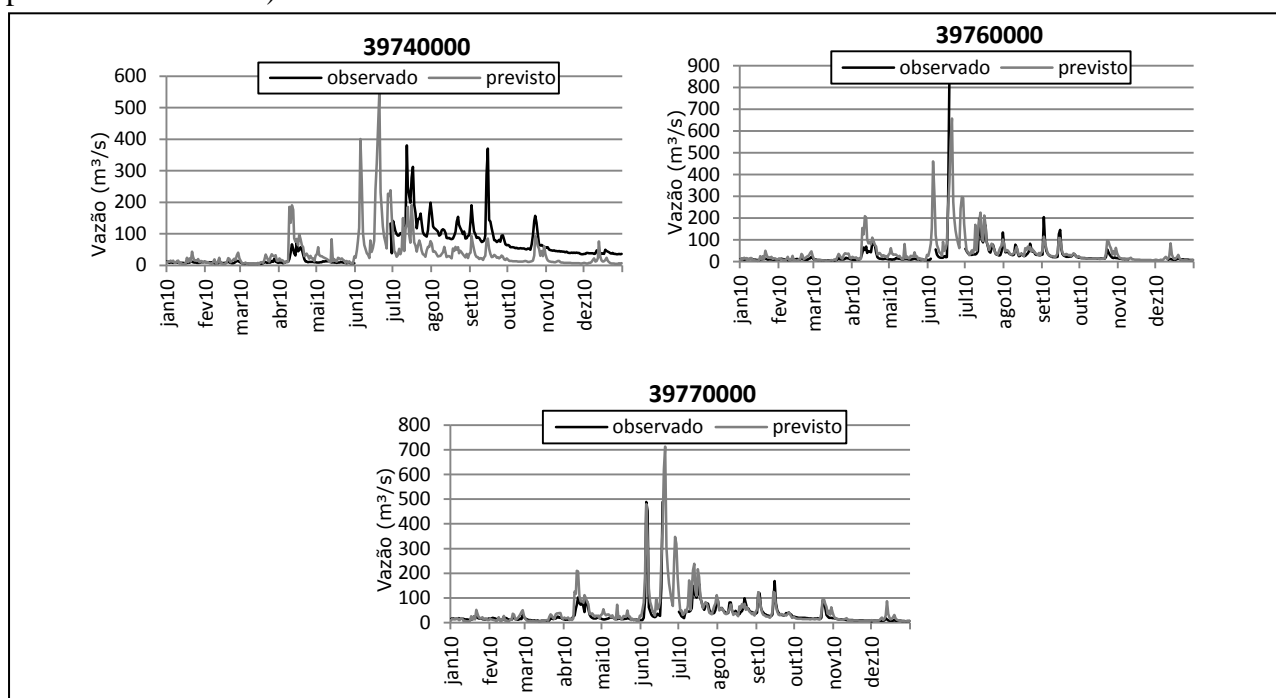


Figura 7 - Hidrogramas do período de previsão.

Tabela 4 - Valores das funções objetivo encontradas no período de previsão

Posto	Código	R ²	Rlog	ΔV	Área de drenagem (km ²)
União dos Palmares (ANA)	39740000	0,30	0,97	0,14	2900
Murici-Ponte (ANA)	39760000	0,41	0,98	0,59	3290
Fazenda Boa Fortuna (ANA)	39770000	0,76	0,87	-0,12	3560

De maneira geral, a Figura 7 e a Tabela 4 refletem que mesmo com a tendência de subestimativa das vazões máximas é possível se afirmar que os acertos foram satisfatórios, em especial no posto Fazenda Boa Fortuna. No pico de vazão ocorrido no dia 19 de junho de 2010 no posto Fazenda Boa Fortuna o modelo indicou uma vazão prevista de 620 m³/s, quase metade da

vazão estimada pela curva-chave (estimativa de 1293 m³/s apresentado em Fragoso Jr et al, 2010). No posto União dos Palmares, no período de julho ao fim de 2010, houve uma grande subestimativa das vazões previstas que poderão vir a ser avaliadas em outras oportunidades. Ainda avaliando a Figura 7, é possível notar que no posto fluviométrico União dos Palmares há um padrão de superestimativa das vazões médias previstas em relação as vazões médias observadas e que este padrão se inverte no segundo semestre. No posto fluviométrico Murici-Ponte percebe-se que o padrão de superestimativa se mantém ao longo de todo o ano enquanto que apenas no posto fluviométrico Fazenda Boa Fortuna este padrão se inverte.

CONCLUSÕES

A calibração e validação do MGB-IPH para a bacia do rio Mundaú apresentaram resultados satisfatórios medidos pelas funções objetivos, que melhoravam com o aumento da área de drenagem do rio, ou seja, um aumento do tempo de concentração é um fator interveniente para dissipar as incertezas da modelagem. Isso ocorre em especial pelo uso do método de Muskingun-Cunge linear com o intervalo de tempo diário para a propagação da vazão nos rios e que não é considerado o ideal (Collischonn, 2001). Fatores que influenciaram a baixa eficiência do modelo para os postos com área de drenagem inferiores à do posto Fazenda Boa Fortuna serão melhor investigados para diminuir as incertezas desta etapa.

O acoplamento entre os modelos WRF e MGB apresentou resultados promissores. As deficiências encontradas no período de validação corresponderam às encontradas também no período de previsão já que estes são iguais. O posto Fazenda Boa Fortuna apresentou valores de $R^2 = 0,76$ $Rlog = 0,87$ e $\Delta V = -0,12$ apontam que o modelo pode ser utilizado, por exemplo, em um sistema de alerta contra cheias, visto os recorrentes eventos de cheias na região. O valor negativo da função objetivo ΔV reflete a tendência geral em subestimar as vazões, refletindo num volume previsto menor que o escoado realmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAINSKI, É.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L. F. N.; ANTUNES, E. N.; BORGES, R. C.; CONCEIÇÃO, G.; MALUTTA. (2009). *Aninhamento de modelos numéricos (meteorológicos e hidrológicos) para a previsão de eventos extremos*. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri. Florianópolis, p. 45p. 2009.
- COLLISCHONN, W., (2001). *Simulação hidrológica de grandes bacias*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre (Rio Grande do Sul). 235 p.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; DIAS, P. L. S.; OLIVEIRA, G. S. (2005). Previsão Sazonal de Vazão na Bacia do Rio Uruguai 2: Previsão Climática-Hidrológica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 10, n. 4, p. 61-72.
- KNEBL, M. R.; YANG, Z. L.; HUTCHISON, K.; MAIDMENT, D. R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management*; v. 75; p. 325-336.
- MICHALAKES, J.; DUDHIA J.; GILL, D.; KLEMP, J.; SKAMAROCK, W. (1999). "Design of a next-generation regional weather research and forecast model," in: *Towards Teracomputing*, World Scientific, River Edge, New Jersey.
- OLIVEIRA, D. L., (2011). *Análise das cheias de junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba, em Alagoas e Pernambuco*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro de Tecnologia (CTEC), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió (Alagoas). 87 p.
- SHUTTLEWORTH, W. J. (1993). Evaporation In: MAIDMENT, D. R. *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill New York. 1993.
- TUCCI, C. E. M., (1998). *Modelos Hidrológicos*. Rio Grande do Sul: UFRGS. 1° ed. 669p.
- TUCCI, C. E. M., (2009). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Rio Grande do Sul: UFRGS. 4° ed. 944p.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, (2011). *Manual on Flood Forecasting and Warning*. WMO-No. 172.
- WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research* Vol. 30 No. 6 pp. 1665-1679.