



A IMPORTÂNCIA DA HIDRODINÂMICA FLUVIAL PARA PREVISÃO DE VAZÃO

Paulo R.M. Pontes^{1*}; Fernando M. Fan¹; Walter Collischonn¹; Auder Machado²; Giovanni V. T. Gomes²; Diogo Costa Buarque¹; Carlos E.M. Tucchi¹;

Resumo – No setor elétrico, o conhecimento antecipado das cheias pode prevenir riscos associados a operação de vertedores e aumentar os benefícios na geração elétrica. Nesse contexto, a previsão de vazões, que utiliza modelos hidrológicos e meteorológicos, é cada vez mais utilizada. Entretanto, existem incertezas nesse processo. Uma das formas de melhorar a previsão de vazão é utilizar modelos mais físicos de propagação de vazão nos rios. Nesse artigo é analisado o benefício em se utilizar o modelo de propagação Inercial, com representação da planície de inundação, em comparação ao modelo Muskingum-Cunge, ambos implementados no modelo hidrológico MGB-IPH. O estudo de caso escolhido é a bacia hidrográfica do rio Paraná, delimitada até Yacyretá. Essa bacia é especialmente importante para o Brasil devido ao seu potencial hidro-energético, além de possuir características hidrodinâmicas interessantes (e.g. planície de inundação e efeito de reservatórios). As comparações mostraram que o modelo MGB-IPH com o método de propagação inercial e representação do armazenamento na planície de inundação apresenta resultados melhores que o modelo Muskingum-Cunge. O benefício surge da melhor representação do efeito de difusão e da atenuação de cheias devido à representação da planície de inundação semelhantes a realidade.

Palavras-Chave – Previsão de vazões, Modelo Inercial, Modelo MGB-IPH

THE IMPORTANCE OF FLUVIAL HYDRODYNAMICS FOR FLOOD FORECASTING

Abstract – The early knowledge of floods can avoid risks associated to reservoir operation and hydroelectric generation. In this sense, flood forecasting system based on hydrological models are a growing in numbers. However, there are uncertainties in these processes. One way to improve flood forecasts is to improve flow routing used methods. This paper aims to compare the use of Inertial flow routing model with a simple floodplain storage model against the Muskingum-Cunge flood routing model, to accomplish flood forecasts. Both flow routing models are implemented in the MGB-IPH hydrologic model. The case study is the Paraná River Basin, delimited until the Yacyretá reservoir. The assessments showed MGB-IPH with Inertial better than MGB-IPH with Muskingum-Cunge model, in terms of diffusive effects and attenuation of floods due to floodplain storage model.

Keywords – Flood Forecasting, Inertial Flow Routing Model, MGB-IPH hydrologic model.

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

* Autor Correspondente. E-mail: p.rogenes@gmail.com

² Itaipu Binacional.



1. INTRODUÇÃO

No setor elétrico a ocorrência de cheias é de grande importância. O conhecimento antecipado das mesmas pode prevenir riscos associados a operação de vertedouros e aumentar os benefícios na geração elétrica (Collischonn et al., 2005), permitindo a tomada de decisões que visem a minimização dos custos operacionais e o uso otimizado dos recursos hídricos disponíveis.

O conhecimento antecipado de cheias pode ser realizado através de modelos de previsão de vazão. A previsão de vazão é a estimativa do escoamento em um curso d'água com uma determinada antecedência temporal. Nacionalmente, o uso de modelos de previsão de vazão tem sido preponderante no setor elétrico, onde é utilizado para auxiliar a operação dos reservatórios (Meller et al., 2014).

No Brasil tem crescido o número de sistemas de previsão de vazão afluente a reservatórios. Cita-se como exemplo os sistemas de previsão de vazão em tempo real dos rios Taquari-Antas (Fan et al., 2012), do rio Pelotas e Canoas, que realiza previsões de vazões afluentes aos reservatórios Barra Grande e Campos Novos (Fan et al., 2014), o sistema do rio Tocantins, que realiza previsões de vazões afluentes ao reservatório Estreito (Fan et al., 2015) e o sistema no rio São Francisco, que realiza previsões de vazões afluentes ao reservatório de Três Marias (Fan et al., 2014). As previsões de vazões para esse fim, geralmente possuem um horizonte de curto prazo, ou seja, é realizada para prever a vazão de horas ou de alguns dias no futuro.

Nesse contexto, o uso de modelagem hidrológica do tipo chuva-vazão e previsão meteorológica de precipitação para a realização da previsão de vazão é muito utilizado. Nos sistemas supracitados por exemplo, foi utilizado o modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn et al., 2007; Collischonn et al., 2005) para a estimativa das vazões.

A qualidade das previsões de vazão está associada com vários fatores. Como exemplo cita-se a qualidade da previsão meteorológica. Nesse contexto o uso de previsões por conjunto, ou em inglês “*ensemble*” está sendo cada vez mais utilizado (Meller et al., 2014; Fan et al., 2014). Esse tipo de previsão consiste na utilização de vários modelos meteorológicos e consequentemente várias previsões de precipitação inserindo a abordagem probabilística e vem sendo utilizado por vários sistemas operacionais internacionais, como exemplo, cita-se o *European Flood Alert System – EFAS* (<http://efas-is.jrc.ec.europa.eu/>).

Outro fator que influencia a qualidade das previsões é o equacionamento utilizado para a representação dos processos hidrológicos. Um dos processos que mais influenciam na previsão é a propagação de vazão ao longo do rio. A maioria dos modelos hidrológicos utilizados para esse fim utilizam métodos simplificados de propagação. Os modelos HBV (Bergstrom, 1995) e VIC (Liang et al., 2004) utilizam um modelo tipo Onda Cinemática para propagação, enquanto o modelo MGB-IPH (Collischonn et al., 2007) utiliza o modelo Muskingum-Cunge para propagação de vazões.

Modelos de propagação mais sofisticados são particularmente importantes para a representação da hidrodinâmica dos rios. Enquanto modelos simplificados, como Onda Cinemática e Muskingum-Cunge, produzem resultados aceitáveis na maior parte das aplicações, em certos tipos de bacias hidrográficas é importante o uso de modelos que representem efeitos como baixa declividade, rios com longos trechos submetidos ao remanso de barragens, rios com planícies de inundação, e rios das regiões litorâneas que sofrem os efeitos das marés.

Nesse artigo é analisado o benefício em se utilizar o modelo Inercial (Bates et al., 2010; Fan et al., 2014), com representação da planície de inundação, em comparação ao modelo Muskingum-



Cunge. O modelo Inercial é uma aproximação das equações de Saint-Venant que despreza apenas o termo de inércia advectiva na equação dinâmica e vem sendo utilizado em pesquisas recentes (Neal et al., 2012; Yamazaki et al., 2013; Pontes et al., 2015).

Ambos os modelos de propagação estão implementados no modelo hidrológico MGB-IPH. O estudo de caso escolhido é a bacia hidrográfica do rio Paraná, delimitada a jusante pelo reservatório da usina hidroelétrica binacional de Yacyretá, localizada na fronteira entre a Argentina e o Paraguai. Essa bacia é especialmente importante para o Brasil devido ao seu potencial hidro-energético, além de possuir características hidrodinâmicas interessantes (e.g. planície de inundação e efeito de reservatórios).

2. MODELO MGB-IPH

O modelo MGB-IPH (“Modelo Hidrológico de Grandes Bacias”), é um modelo distribuído, voltado para aplicações em grandes bacias hidrográficas com as típicas condições de disponibilidade de dados encontradas no Brasil (Collischonn et al., 2007). O modelo MGB-IPH é um modelo hidrológico baseado em processos, o que significa que são utilizadas equações físicas e conceituais para simular o ciclo hidrológico continental. Na versão atual do modelo MGB-IPH a bacia hidrográfica é dividida em pequenas unidades menores denominadas minibacias (Fan e Collischonn, 2014). A discretização da bacia em minibacias é realizada com base na análise de um Modelo Digital de Elevação.

2.2. Discretização da bacia hidrográfica

A adoção do método Inercial exigiu uma alteração na metodologia de discretização espacial. Na metodologia de discretização em minibacias adotada atualmente no modelo MGB-IPH, a definição das bacias hidrográficas e das minibacias e dos dados de topografia normalmente usados para geração de informações necessárias para o uso do modelo MGB-IPH são provenientes do modelo digital de elevação do terreno.

No processo de discretização a partir do MDE são realizadas as etapas de remoção de depressões, geração de direções de fluxo, área de drenagem acumulada, definição da rede de drenagem (Figura 1a) e, finalmente, a subdivisão em minibacias (Figura 1b) (Paiva et al., 2011).

A discretização proposta por Pontes et al. (2015) e usada neste artigo considera um critério de segmentação relacionado ao comprimento dos trechos de rio (Figura 1c). Além disso, também é possível contemplar casos em que existem ilhas, ou laços fechados. Um exemplo é apresentado na Figura 2d, onde há um trecho de rio que liga diretamente o trecho de rio 6 ao trecho de rio 10.

Adicionalmente, a batimetria da várzea de inundação é obtida através de uma curva hipsométrica, relacionando a cota e a área (Figura 1e). Esta curva é usada posteriormente para estimar a área alagada e volume em cada minibacia para diferentes valores do nível da água. Um processo semelhante é utilizado nas pesquisas descritas por Paiva et al. (2011) e Yamazaki et al. (2013).

2.3. Modelo Inercial

No modelo Inercial do MGB-IPH admite-se que cada minibacia tem apenas um trecho de rio, como no caso da minibacia A, representada na Figura 1f. A jusante da minibacia A está localizada a minibacia B. O nível da água no trecho de rio da minibacia A é $y_i = z_i + h_i$, e o nível da água no trecho de rio da minibacia B é $y_{i+1} = z_{i+1} + h_{i+1}$. A vazão de troca entre a minibacia A e a minibacia B é Q_i .

Após algumas considerações matemáticas na equação dinâmica de forma a explicitar o valor da vazão no final do intervalo de tempo, obtém-se a equação 1:

$$Q_i^{t+\Delta t} = \left(\frac{((Q_i^t) - g.B.\Delta t.(hflow_i.Sflow_i))}{\left(1 + \frac{g.\Delta t.hflow_i.(Q_i^t).n^2}{B^{1/2}.(hflow_i)^{10/3}}\right)} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

onde n é o coeficiente de Manning ($m^{-1/3}.s$); a variável $hflow_i$ (metros) refere-se à profundidade na seção transversal localizada entre a minibacia i e a minibacia $i+1$, e é estimada pela seguinte equação:

$$hflow_i = \max[y_i^t; y_{i+1}^t] - \max[Ztab_{i,1}; Ztab_{i+1,1}] \quad \text{Eq. 2}$$

Na equação 3 o termo $Sflow_i$ é a declividade da linha de água devido à perda de energia por atrito.

A equação da continuidade pode ser escrita em função do balanço de volumes em uma minibacia, obtendo-se a equação 3:

$$\frac{V_i^{t+\Delta t} - V_i^t}{\Delta t} = \sum Q_{in}^{t+\Delta t} - \sum Q_{out}^{t+\Delta t} \quad \text{Eq. 3}$$

O esquema numérico adotado é explícito, e, por isso, está sujeito a uma restrição do tamanho do intervalo de tempo adotado, para evitar instabilidade numérica. Na escolha do valor de Δt , deve ser respeitada a condição de Courant-Friedrichs-L Levy (CFL) superior a unidade. Isto significa que o intervalo de tempo de cálculo deve ser escolhido de forma a satisfazer a equação 4:

$$\Delta t = \alpha \frac{\Delta x}{\sqrt{gh}} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que α é um valor menor ou igual a 1 (Bates et al., 2010 e Yamazaki et al., 2013).

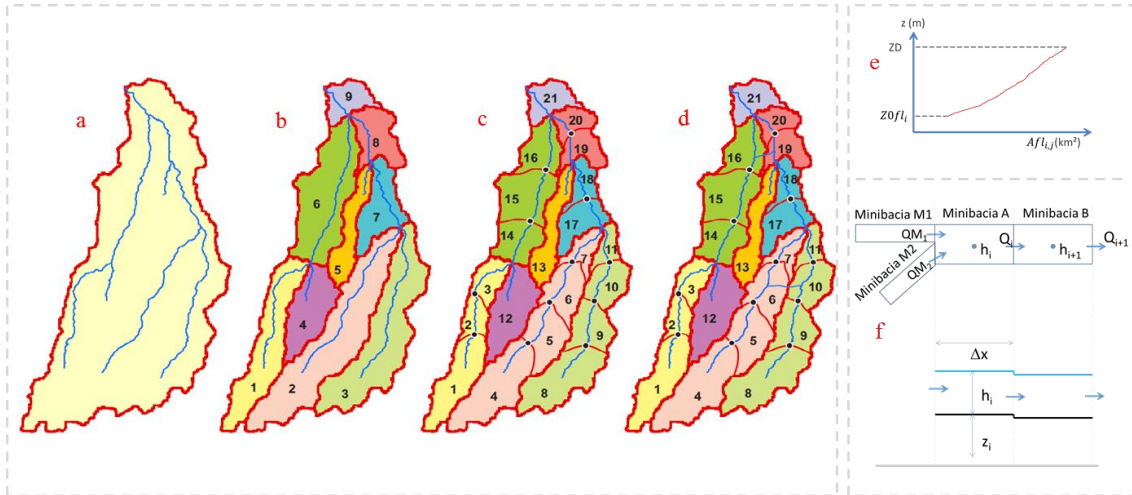


Figura 1: Rede de drenagem hipotética (a). Minibacias hipotéticas geradas pelo processo tradicional de delimitação de bacias (b). Minibacias hipotéticas geradas a partir da metodologia proposta nesse trabalho (c). Esquema de troca de água entre minibacias vizinhas (d). Exemplo de curva hipsométrica relacionando cota e área alagada (e). Esquema de discretização das minibacias de comprimento Δx e das variáveis de vazão (Q e QM), profundidade (h) e nível (z) do modelo Inercial implementado no modelo hidrológico MGB-IPH (f). Fonte: Pontes et al. (2015).

3. ESTUDO DE CASO



A área de interesse do estudo corresponde a bacia hidrográfica do rio Paraná delimitada até Yacyretá. Entretanto, os resultados são focados na bacia incremental definida pelos trechos de rio que se estendem desde as Usinas Hidrelétricas de Porto Primavera e Rosana, localizadas a montante de Itaipu, até a barragem de Yacyretá, localizado no rio Paraná a mais de 143 km a jusante de Itaipu, incluindo a bacia do rio Iguaçu (Figura 2). Portanto, as condições de contorno de montante da bacia incremental são as defluências e níveis operacionais de Porto Primavera e Rosana. A condição de contorno de jusante é o nível operacional da usina Yacyretá. Para analisar o trecho a jusante de Itaipu, é utilizada uma condição de contorno interna, que corresponde a defluência e nível operacional de Itaipu.

4. DADOS UTILIZADOS E CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

A discretização da bacia hidrográfica foi feita a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - Farr et al., 2007). Esse processo gerou um total de 4700 minibacias e 70 sub-bacias, essas últimas utilizadas para a calibração do modelo.

O mapa de Unidades de Respostas Hidrológicas utilizado nesse estudo foi obtido a partir da combinação de mapas de vegetação, tipo de solo e dos mapas de minibacias. Os mapas são semelhantes aos utilizados em Pontes et al. (2013).

Os dados pluviométricos e fluviométricos utilizados correspondem às estações telemétricas de Itaipu, ambos em intervalo de tempo horário. As estações telemétricas de chuva foram utilizadas para gerar a chuva interpolada espacialmente para cada minibacia da região de estudo. Já as estações fluviométricas foram utilizadas para realizar a calibração do modelo hidrológico, que se estendeu de 2006 até 2014. As medidas de desempenho utilizadas para avaliar a calibração foram as tradicionalmente usadas na aplicação do MGB (Pontes et al., 2013), que são o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões simuladas e observadas (ENS); o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões simuladas e observadas (ENSlog); e o erro relativo de volume total dos hidrogramas (ΔV).

Ainda sobre a calibração, foi utilizado o modelo Muskingum-Cunge para a realização da mesma. Esse método foi escolhido devido ao tempo de simulação ser mais rápido que o modelo Inercial. A calibração do modelo hidrológico é possível de ser feita usando diferentes métodos de propagação de vazão nos rios porque os parâmetros calibráveis do modelo são exclusivamente dos processos de transformação chuva-vazão. Não são calibrados parâmetros hidráulicos da propagação de vazões nos rios.

Após a calibração do modelo, foi realizada uma verificação utilizando o modelo Inercial para o mesmo período de calibração. Essa verificação teve como objetivo analisar se a melhoria na representação do processo de propagação de vazão, advinda do modelo Inercial e da representação da planície de inundação, são capazes de gerar algum benefício em relação ao modelo simplificado.

5. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as medidas de desempenho calculadas para as mesmas localidades utilizando os modelos Inercial e Muskingum-Cunge.

As medidas de desempenho da calibração – na qual foi utilizado o modelo Muskingum-Cunge – foram consideradas boas. Em Porto São José por exemplo, os coeficientes ENS e ENSlog foram 0,93 e 0,9 respectivamente, enquanto o ΔV foi de -1,3%. Em Itaipu, os coeficientes ENS e ENSlog



foram 0,86 e 0,83, e o ΔV calculado foi de 0,4% apenas. Finalmente, em R11-Monday, os coeficientes ENS e ENSlog foram de 0,9 e 0,78, e o ΔV foi de -1,1%.

Tabela 1: Medidas de desempenho calculadas com os modelos Inercial e Muskingum-Cunge nos locais analisados.

	Porto São José		Itaipu		R11	
	MC	Inercial	MC	Inercial	MC	Inercial
ENS	0.93	0.99	0.86	0.96	0.9	0.98
ENSlog	0.9	0.9	0.83	0.96	0.78	0.98
$\Delta V(\%)$	-1.3	-1.3	0.4	0	-1.1	-1.6

As medidas de desempenho obtidas no processo de verificação com o modelo Inercial, considerando a planície de inundação, são ainda melhores. Em Porto São José por exemplo, os coeficientes ENS e ENSlog foram 0,99 e 0,90 respectivamente, enquanto o ΔV foi de -1,3%. Em Itaipu, os coeficientes ENS e ENSlog foram 0,96 e 0,96, e o ΔV calculado foi de 0,0%. Finalmente, em R11-Monday, os coeficientes ENS e ENSlog foram de 0,98 e 0,98, e o ΔV foi de -1,6%.

As Figuras 2a, 2b e 2c mostram os hidrogramas observados e simulados pelo modelo Muskingum-Cunge (sem planície de inundação) e modelo Inercial (com planície de inundação) em Porto São José (área de drenagem: 678200 km²), Itaipu (área de drenagem: 820000 km²) e R11-Monday (área de drenagem: 905000 km²). Foi escolhido como evento a ser apresentado a maior cheia de 2013, o ano do recorde mundial de geração de energia de Itaipu.

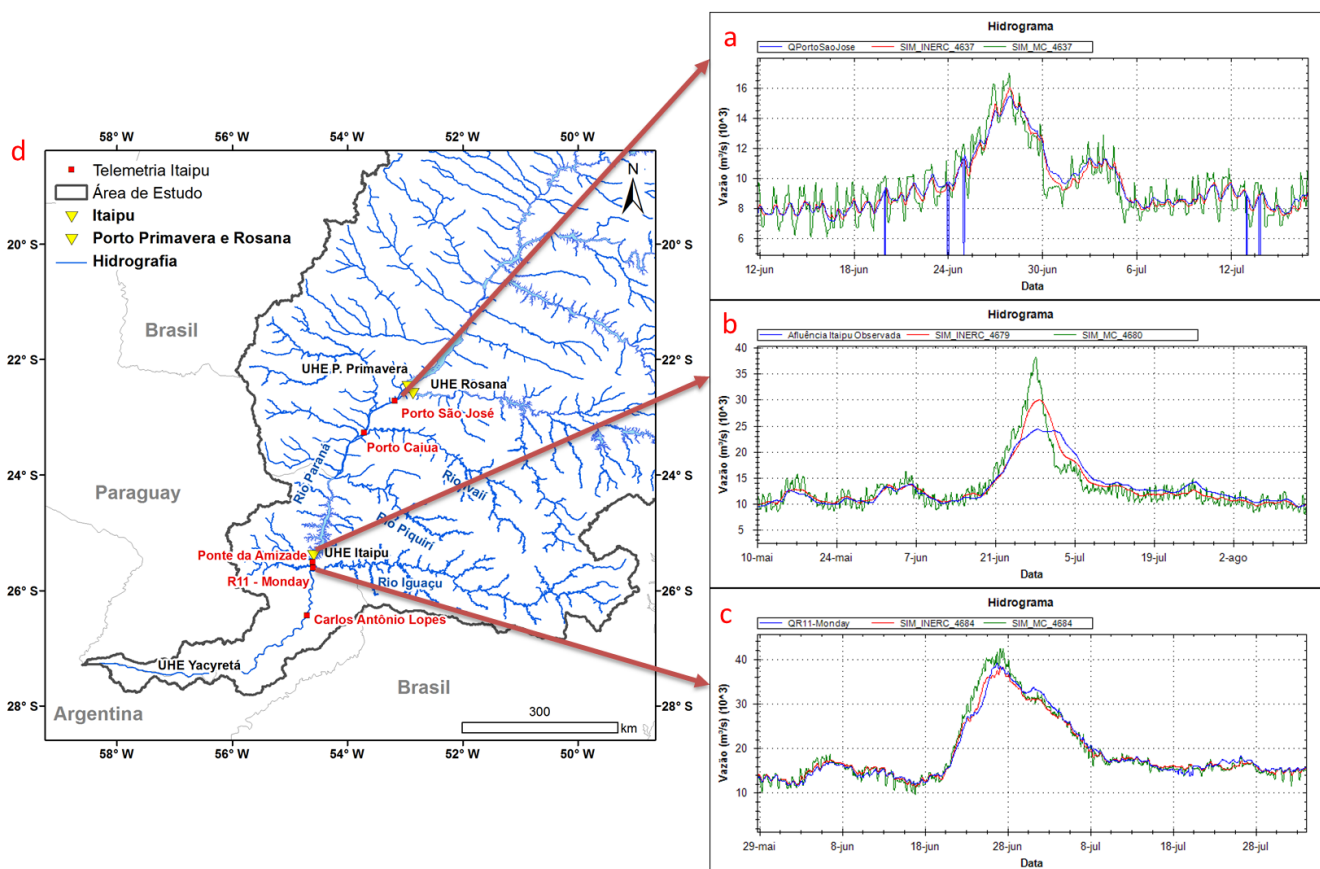


Figura 2: Vazões observadas (linha azul), calculada por Muskingum-Cunge (linha verde) e calculada pelo modelo Inercial (linha vermelha) em Porto São José (a); Itaipu (b) e R11-Monday (c). Área de estudo e estações telemétricas na bacia hidrográfica do rio Paraná delimitada até Yacyretá (d).



Apesar dos resultados das medidas de desempenho calculados a partir do modelo Muskingum-Cunge terem sido bons, os hidrogramas apresentam pouca difusão. Como pode ser observado nas figuras, o hidrograma em verde (Muskingum-Cunge) possui uma grande variabilidade temporal que não é vista nos dados observados. Essa variabilidade é causada pela operação dos reservatórios que é incorporada no modelo na condição de contorno de montante (defluência das usinas Porto Primavera e Rosana) e na condição de contorno interna (defluência de Itaipu).

Entretanto, essa variabilidade observada tende a diminuir na medida em que o comprimento do rio e a área de drenagem aumentam. Esse fato não é adequadamente representado pelo modelo Muskingum-Cunge, como pode ser corroborado observando as figuras.

Em contrapartida, o modelo Inercial (hidrograma vermelho) apresenta uma difusão muito mais próxima da real. Isto pode ser confirmado pelo comportamento do hidrograma Inercial (vermelho) em comparação aos dados observados (hidrograma azul). Nos três locais analisados os eventos menores causados pela operação dos reservatórios sofrem mais difusão e se assemelham aos eventos observados.

Além da difusão, outro efeito que é representado pelo modelo Inercial é o armazenamento na planície de inundação. Como pode ser observado nas figuras, o hidrograma simulado pelo modelo Inercial (vermelho) atenua mais a cheia do que o hidrograma simulado pelo modelo Muskingum-Cunge (verde). Somando-se o efeito do armazenamento na planície de inundação ao efeito de difusão, observa-se que os hidrogramas simulados pelo modelo Inercial são mais semelhantes aos hidrogramas observados (azuis).

6. CONCLUSÃO

O foco da análise foi avaliar se a melhoria no módulo de propagação, utilizando um modelo semelhante a um modelo hidrodinâmico, poderia representar algum benefício para as previsões e monitoramento das vazões na bacia estudada.

As comparações entre os dois modelos mostraram que o modelo MGB-IPH com o método de propagação Inercial e representação do armazenamento na planície de inundação apresenta resultados melhores ao modelo Muskingum-Cunge em todos os aspectos analisados. Os efeitos mais importantes para a previsão são a maior difusão e a atenuação de cheias devido à representação da planície de inundação.

Com relação à difusão, espera-se que com o modelo representando melhor as variações nos hidrogramas, causadas pela operação dos reservatórios, as vazões nos primeiros instantes do horizonte de previsão sejam melhores representadas com o modelo Inercial. Com relação a atenuação de cheias devido à consideração e ao armazenamento na planície de inundação, espera-se que as cheias sejam melhores representadas com o modelo Inercial, diminuindo por exemplo, perdas de geração de energia, em caso de superestimativa dos picos de vazão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATES, P. D., HORRITT M. S., FEWTRELL T. J. A Simple Inertial Formulation Of The Shallow Water Equations For Efficient Two-Dimensional Flood Inundation Modelling, *J. Hydrol.*, v. 387, p. 33–45.2010.

BERGSTROM, S. The HBV model. Em: Singh, V.P. (ed). *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, pp 443-476. 1995.



- COLLISCHONN, W., ALLASIA, D.G., SILVA, B.C., TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895. 2007.
- COLLISCHONN, W., HAAS, R., ANDREOLLI, I., TUCCI, C.E.M. Forecasting river Uruguay flow using rainfall forecasts from a regional weather-prediction model. *J. Hydrol.*, v. 305, p. 87-98. 2005.
- FARR, T.G.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; ET AL. The shuttle radartopography mission. *Reviews of Geophysics*, 45, 2. 2007.
- FAN, F.M.; PONTES, P.R.M.; COLLISCHONN, W.; BELTRAME, L.F.S. Sistema de previsão de vazões para os rios Taquari-Antas e Pelotas. XI Simpósio de Rec. Hídricos do Nordeste. 2012.
- FAN, F. M.; PONTES, P.R.M; PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 137-147. 2014.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 243-254. 2014.
- FAN, F.M.; PONTES, P.R.M.; BELTRAME, L.F.S.; COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D.C. Operational flood forecasting system of the Uruguay River Basin using the hydrological model MGB-IPH. 6 International Conference on Flood Management. São Paulo, Brazil. 2014.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; QUIROZ, K.; SORRIBAS, M.V.; BUARQUE, D.C.; SIQUEIRA, V.A. Flood Forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. *J. Flood Risk Manag.* In Press. 2015.
- FAN, F. M. ; COLLISCHONN, W. ; MELLER, A. ; BOTELHO, L. C. M . Ensemble streamflow forecasting experiments in a tropical basin: The São Francisco river case study. *Journal of Hydrology*, v. 519, p. 2906-2919. 2014.
- LIANG, X., LETTENMAIER, D.P., WOOD, E.F., BURGESS, S.J. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *J. Geophys. Res.* 99, 14415–14428. 1994.
- MELLER, A. ; COLLISCHONN, W. ; FAN, F. M. ; BUARQUE, D. C. ; PAIVA, R. C. D. ; DIAS, P. ; MOREIRA, D. Previsão de Cheias por Conjunto em Curto Prazo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, p. 33-49, 2014.
- NEAL, J.; SCHUMANN, G.; BATES, P.D. A subgrid channel model for simulating river hydraulics and floodplain inundation over large and data sparse areas, *Water Resour. Res.*, v.48. 2012.
- PAIVA, R.C.D., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M. Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. *Journal of Hydrology*, v. 406, p. 170–181. 2011.
- PONTES, P.R.M.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R.C.D.; FAN, F.M. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RBRH (ABRH)*. No prelo. 2015.
- YAMAZAKI, D.; DE ALMEIDA, G. A. M.; BATES, P. D. Improving computational efficiency in global river models by implementing the local inertial flow equation and a vector-based river



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

network map. *Water Resour. Res.*, v. 49. 2013.