

## DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE PREVISÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA PARA A REGIÃO DA UHE TRÊS MARIAS

*Fernando Mainardi Fan<sup>1\*</sup>; Walter Collischonn<sup>2</sup>; Diogo Costa Buarque<sup>3</sup>; Carlos Eduardo Morelli Tucci<sup>4</sup>; Luiz Cezar Mendes Botelho<sup>5</sup>*

**Resumo** – Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do desempenho de um sistema operacional de previsão de vazões para a bacia do Rio São Francisco até a confluência com o Rio das Velhas. O sistema apresentado foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão pelos agentes de operação do reservatório da UHE Três Marias para o controle de cheias na região sob influência do reservatório. O sistema desenvolvido funciona acoplado com um SIG, ao modelo hidrológico MGB-IPH e a dados de diferentes fontes. O modelo é capaz de gerar previsões para múltiplos pontos dentro da bacia hidrográfica. O do sistema de previsão de vazões foi testado para o período chuvoso entre Outubro de 2012 e Fevereiro de 2013 com o uso das previsões de chuva do modelo CPTEC ETA-15km. O desempenho das previsões pode ser classificado como satisfatório para a previsão das vazões nos locais avaliados para um horizonte de 2 a 3 dias.

**Palavras-Chave** – Previsão de vazão; Modelagem Hidrológica, Controle de Cheias

## DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A DISTRIBUTED HYDROLOGIC FORECASTING SYSTEM TO THE TRÊS MARIAS HPP REGION

**Abstract** – This paper presents the development and performance evaluation of a streamflow forecasting system for the São Francisco River basin until the confluence with Rio das Velhas. The presented system was developed in order to assist decision-making by agents operating the Três Marias HPP reservoir for flood control in the region under the reservoir influence. The developed system works by coupling a GIS, the MGB-IPH hydrological model and data from different sources. The model is able to generate forecasts for multiple points within the watershed. The streamflow forecasts performance was tested during the rainy season between October 2012 and February 2013 using rainfall forecasts from the CPTEC ETA-15km model. The performance of the forecasts can be classified as good in predicting flows at sites evaluated for a 2-3 days horizon.

**Keywords** – Streamflow Forecasting, Hydrologic Modeling, Flood Control

## INTRODUÇÃO

A previsão de vazão em um sistema hídrico pode ser definida como a estimativa do escoamento em um curso d'água com antecedência temporal. Ela é uma das técnicas utilizadas para minimizar o impacto das incertezas do clima sobre o gerenciamento dos recursos hídricos (Collischonn e Tucci, 2005).

Assim, a utilização de previsões hidrológicas é muito interessante para subsidiar o processo de tomada de decisão na operação de reservatórios, ainda mais em situações de cheias, onde a operação dos reservatórios é feita pelos agentes geradores. As previsões auxiliam na implantação

<sup>1</sup> Doutorando no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); fernando.fan@ufrgs.br

<sup>2</sup> Professor adjunto do IPH/UFRGS; collischonn@iph.ufrgs.br

<sup>3</sup> Doutorando no IPH/UFRGS; diogo.buarque@gmail.com,

<sup>4</sup> Professor Colaborador do IPH/UFRGS; rhamaca@gmail.com

<sup>5</sup> Membro da Gerência de Planejamento Energético da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG); lbotelho@cemig.com.br

\* Autor Correspondente

de sistemas de alerta contra cheias, permitindo uma maior antecipação do início das ações de mitigação dos possíveis danos materiais, sociais e humanos decorrentes de eventos extremos, e permitindo que as usinas hidrelétricas cumpram as suas restrições de operação da forma mais eficiente possível (Bravo, 2006).

A partir desta linha de pesquisa, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação do desempenho de um sistema operacional de previsão de vazões para a bacia do Rio São Francisco até a confluência com o Rio das Velhas. O sistema apresentado foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a tomada de decisão pelos agentes de operação do reservatório da UHE Três Marias para o controle de cheias na bacia.

O modelo hidrológico de previsão utilizado no sistema é o MGB-IPH, que é um modelo especificamente desenvolvido para bacias hidrográficas de grande porte. Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema computacional específico, integrado com SIG, para a aplicação do modelo MGB-IPH para realização de previsões operacionais de vazões afluentes à UHE Três Marias e em outros locais da bacia hidrográfica. Como dado de entrada de previsão de precipitação no período de testes foram utilizadas informações do modelo ETA-15km, fornecidas pelo CPTEC-INPE.

A seguir, o desenvolvimento do sistema é mostrado e a avaliação das previsões realizadas para um período de testes é apresentada com comparações visuais e cálculos de estatísticas descritivas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### A Bacia Hidrográfica Estudada

A região considerada neste trabalho é a bacia do rio São Francisco até o ponto imediatamente a montante da confluência com o rio das Velhas. A Figura 1 apresenta a bacia hidrográfica em questão.

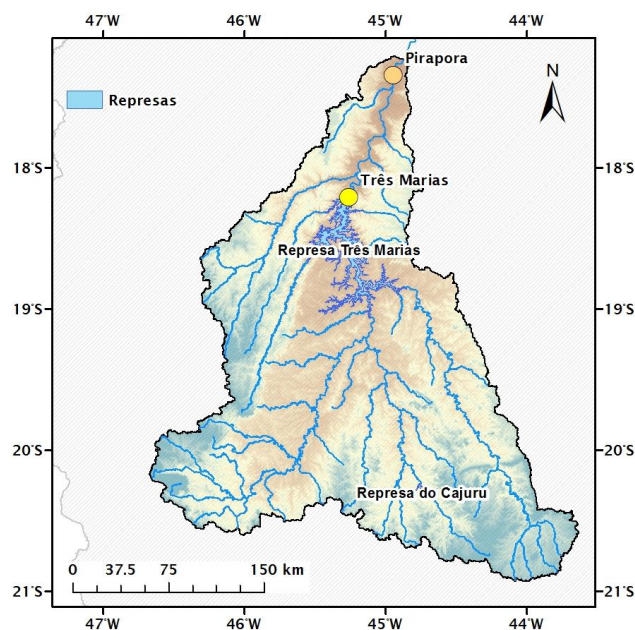


Figura 1: Bacia hidrográfica do rio São Francisco até a confluência com o rio das Velhas, destacando os reservatórios de Três Marias e de Cajuru.

Esta região é de interesse por que no coração da bacia localiza-se o reservatório da UHE Três Marias. Esta UHE tem como uma de suas restrições operacionais o controle de cheias na cidade de Pirapora (a jusante). Este controle depende tanto do conhecimento da vazão afluente ao reservatório como do conhecimento das condições de vazão no Rio Abaeté, que aflui ao sistema entre a usina e a cidade de Pirapora. Com isto, é necessário um modelo que represente e produza estimativas de vazões em todos estes pontos de interesse.

### **O Modelo MGB-IPH**

O modelo MGB-IPH é um modelo que calcula as vazões dos rios em uma bacia a partir de dados de precipitação e de outras variáveis climáticas. Ele é um modelo semi-distribuído, em que a bacia hidrográfica é sub-dividida em unidades menores denominadas de “minibacias” utilizando ferramentas de geoprocessamento.

Embora alguns processos sejam representados de forma empírica, o modelo hidrológico conta com uma forte base física, o que fortalece a relação entre os parâmetros e as características físicas da bacia. Uma descrição mais detalhada do modelo é apresentada por Collischonn e Tucci (2001). O intervalo de tempo de cálculo do modelo para o presente projeto foi horário.

No contexto da previsão em tempo real, emprega-se no modelo uma técnica de assimilação de dados, ou atualização do modelo, que é um processo de retroalimentação em que as observações mais recentes no rio são utilizadas para corrigir as condições iniciais do modelo. A assimilação de dados no modelo MGB-IPH é realizada através de um método empírico que utiliza as vazões observadas em tempo real para atualizar as condições iniciais do modelo, representadas pelas vazões calculadas ao longo da rede de drenagem e o volume de água armazenado nos reservatórios superficial, subsuperficial e subterrâneo de cada minibacia do modelo hidrológico (Meller et al., 2012).

### **Dados de Previsão Meteorológica do Modelo ETA-15km**

A previsão de vazão necessita de informações sobre a chuva no futuro ao longo do horizonte de previsão. Para isto podem ser utilizados dados de previsão quantitativa de chuva, suposições de chuva nula, ou estimativas de chuvas futuras baseadas em uma previsão de consenso de uma equipe de meteorologistas com experiência na região de interesse. No contexto deste trabalho foram utilizadas as previsões quantitativas do modelo ETA-15km.

O modelo ETA vem sendo utilizado operacionalmente pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC-INPE) para produzir previsões meteorológicas desde a década de 1990 (Chou, 1996; Chou et. al, 2001). O modelo ETA-15km é uma versão do modelo ETA com resolução da grade de 15km e com resultados de previsões sobre toda a América do Sul. Os dados das previsões do modelo são disponibilizados diariamente através de um *ftp* no portal do CPTEC (<http://www.cptec.inpe.br>). O horizonte de previsão dos dados é de 7 dias. Estes dados foram adquiridos diariamente e utilizados como dado de entrada de precipitação no período em que o sistema de previsão foi testado.

### **Dados Observados de Precipitação e de Vazão**

Duas outras informações fundamentais para a realização de previsões hidrológicas são os dados de chuva e vazão do período passado, que antecedem o intervalo de tempo em que a previsão está sendo realizada. Estes dados são importantes para a atualização das condições iniciais do modelo hidrológico através da assimilação de dados.

No caso deste projeto foram utilizadas os dados de chuva e vazão em intervalo de tempo horário, disponibilizados pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) através do portal WebService ([www.ana.gov.br/telemetria](http://www.ana.gov.br/telemetria)) da Agência Nacional de Águas (ANA). Estes dados consistem na rede telemétrica da bacia do rio São Francisco até o ponto de interesse. São 11 postos fluviométricos e/ou pluviométricos localizados no rio São Francisco e em seus afluentes, conforme mostra a Figura 2, a seguir.

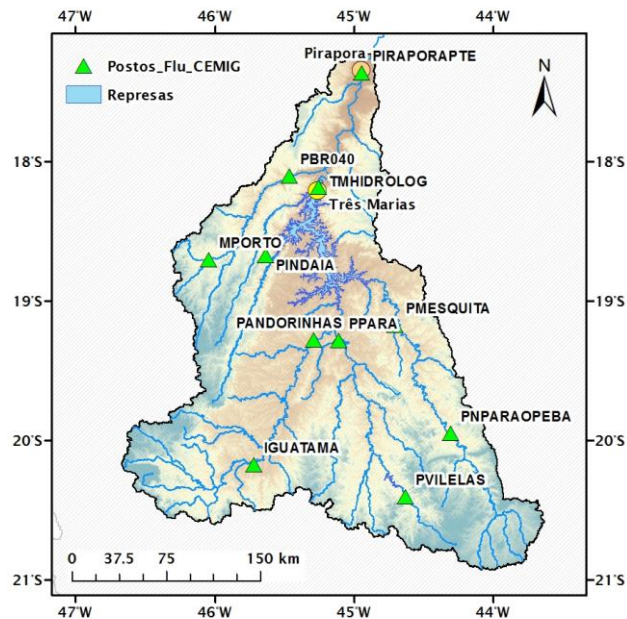


Figura 2: Localização dos postos fluviométricos com dados horários na bacia do rio São Francisco.

## Integração com SIG

Em relação à integração com SIG, o sistema de previsões foi desenvolvido de forma integrada a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) denominado MapWindow GIS® (Ames et al., 2008). Esta plataforma consiste em um software livre que contém um grande número de funcionalidades básicas de um SIG.

Contudo, o maior aspecto do MapWindow GIS® é que não é limitado puramente às funcionalidades básicas disponíveis, pois permite que aplicações personalizadas sejam adicionadas ao programa através de plugins programados em diferentes linguagens de programação (Ames et al., 2008). No presente trabalho, foi desenvolvido um plugin em linguagem de programação *Visual Basic .NET* com o sistema de previsão.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os resultados obtidos neste trabalho. Primeiramente, o sistema desenvolvido. Em seguida, resultados das previsões de vazão utilizando o sistema durante um período de testes.

## O Sistema de Previsão Desenvolvido

O sistema de previsão hidrológica desenvolvido consiste em um grande conjunto de ferramentas que tem como objetivo ser a forma com que um usuário, como um hidrólogo responsável pelo controle operacional da usina hidrelétrica, interage com o modelo hidrológico e com os diferentes dados de entrada necessários para a realização de uma previsão.

O sistema foi desenvolvido acoplado com o SIG e com uma interface onde é possível interagir com o modelo de previsão a partir de um mapa georeferenciado com a localização dos pontos de interesse da bacia, como os postos fluviométricos e as usinas hidrelétricas.

Além de contar com um conjunto de menus para a realização das tarefas de previsão e busca de dados de telemetria, a interface permite incluir outros conjuntos de informações relevantes ao mapa. Após cada previsão, os hidrogramas calculados e observados e previstos nos diferentes locais podem ser acessados clicando diretamente sobre os pontos de interesse. A Figura 3 mostra o uso de uma das ferramentas do sistema desenvolvido. O sistema de previsão foi utilizado diariamente para a realização de previsões hidrológicas na bacia de interesse, onde apresentou funcionamento pleno.

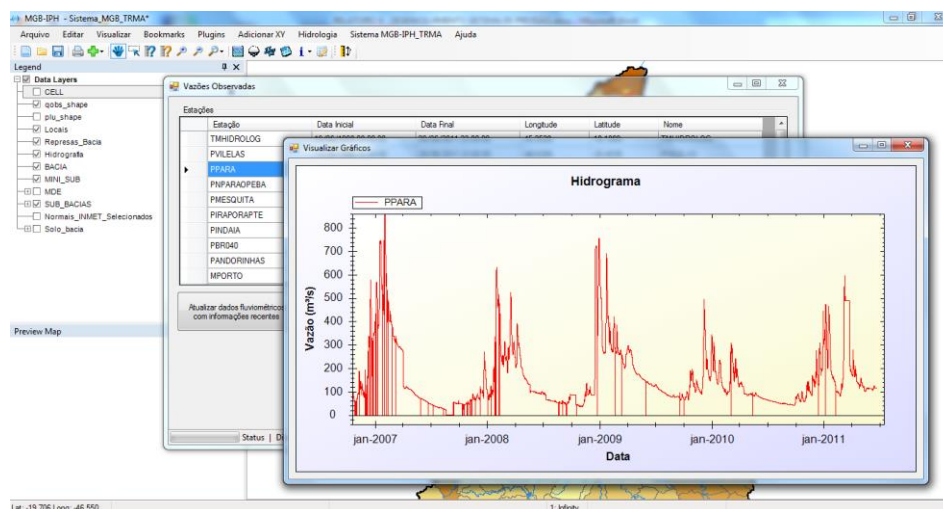


Figura 3: Ferramenta do Sistema de Previsão Desenvolvido.

## Avaliação das Previsões

O sistema de previsão hidrológica desenvolvido foi testado em caráter experimental diariamente no período chuvoso entre Outubro de 2012 e Fevereiro de 2013 com o uso das previsões de chuva do modelo ETA.

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam um sumário dos resultados destas previsões em função de hidrogramas e das estatísticas: *Coefficiente de Nash-Sutcliffe (NS)* e *Erro Médio Absoluto (EMA)*. São mostrados resultados para a estação Ponte da BR-040 (exutório da bacia do rio Abaeté) e para a Afluência à UHE Três Marias. Estes pontos foram escolhidos por serem dois locais fundamentais no processo de operação da usina para controle de cheias.

Analisando o hidrograma dos resultados obtidos na Ponte da BR-040 observa-se que a grande maioria das cheias observadas no local foram representadas nas previsões, com destaque positivo para as subidas dos hidrogramas identificadas nas previsões dos dias 20/11/2012, 10/01/2013 e 01/02/2013.

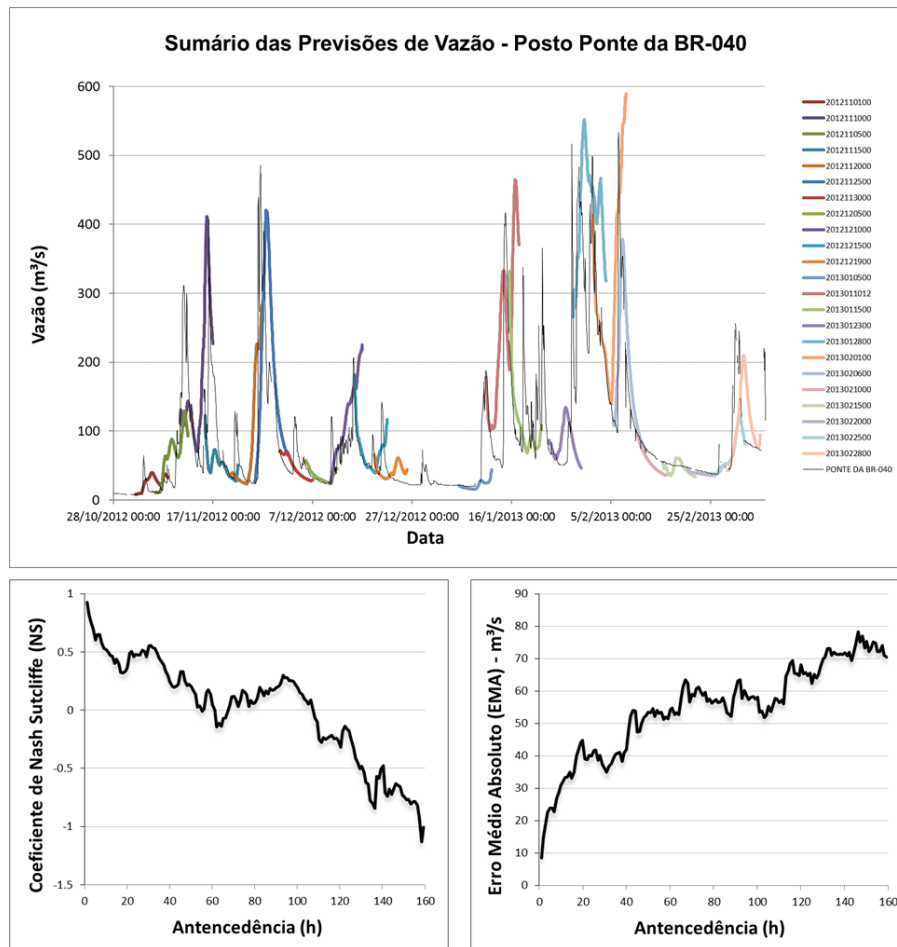


Figura 4: Resultados para o Posto Fluviométrico Ponte da BR-040. No hidrograma a linha preta representa a vazão observada e as linhas coloridas as previsões executadas em diferentes dias.

Em relação às estatísticas, verifica-se que a partir de cerca de 48h de antecedência o coeficiente de Nash Sutcliffe passa a ser menor do que zero. Assim, esta informação pode ser utilizada como intervalo de confiança para o uso dos resultados. O erro médio absoluto, em comparação com a magnitude das cheias, pode ser considerado pequeno ao longo deste intervalo de confiança.

De uma forma geral, apesar de a bacia ser pequena e ter hidrogramas rápidos, o conjunto modelo hidrológico mais modelo meteorológico resultou em boas previsões para este ponto.

Para a afluência do reservatório de Três Marias, o hidrograma dos resultados de previsão de afluência indica um bom desempenho do modelo na previsão do início da maioria das cheias, indicando que o início das cheias é captado pelo sistema. Contudo, em alguns eventos a ocorrência das cheias foi superestimada, como para 01/02/2013.

Esta superestimativa das cheias sempre acontece nos horizontes de previsão mais distantes, indicando que o volume de chuva em horizontes muito distantes na região à montante do reservatório foi por vezes superestimado pelo modelo meteorológico (além de possíveis erros na representação do modelo hidrológico). Assim, este resultado indica que é sempre interessante que sejam realizadas previsões novas, para evitar este tipo de erro, e que os horizontes de previsão mais recentes são mais confiáveis.

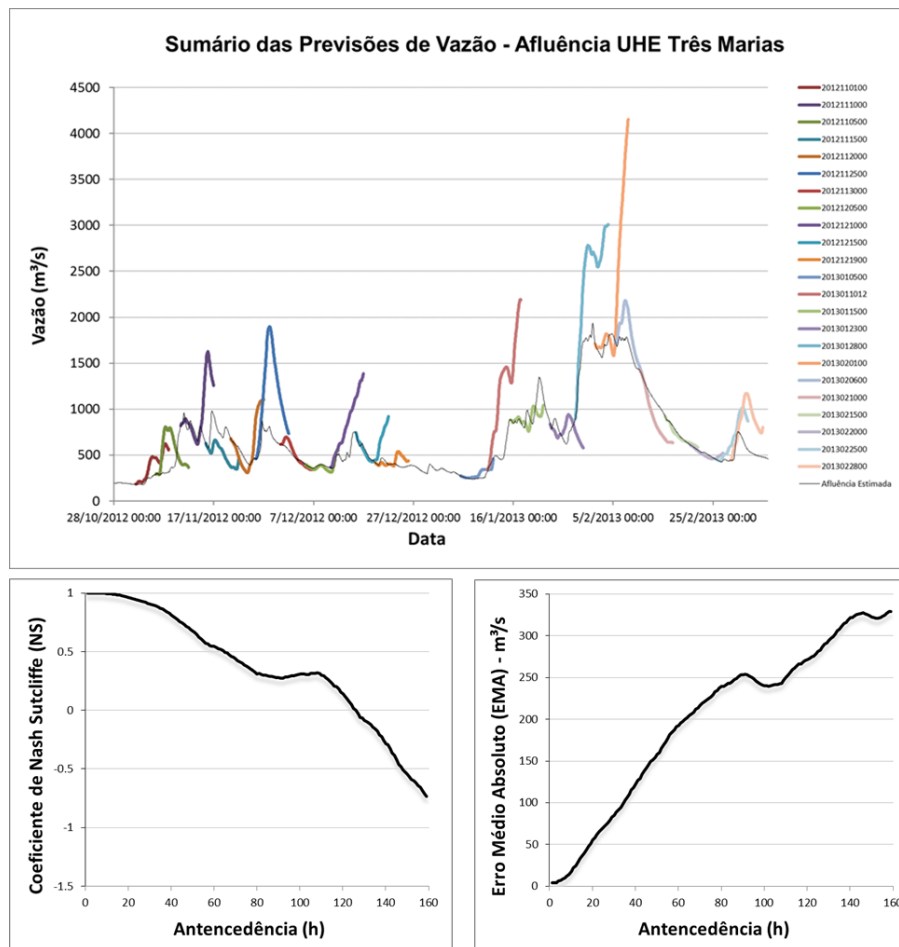


Figura 5: Resultados para o afluência à UHE Três Marias. No hidrograma a linha preta representa a vazão afluente calculada e as linhas coloridas as previsões em diferentes dias.

Com isto, de uma forma geral, pode-se que para a afluência à UHE Três Marias os resultados do conjunto modelo hidrológico mais modelo meteorológico no sistema de previsão resultou em boas previsões para um horizonte de cerca de 3 dias.

## CONCLUSÕES

Nos testes experimentais realizados, o desempenho do modelo pode ser classificado como bom na previsão das vazões no ponto Ponte da BR-040 e na Afluência à UHE Três Marias, sendo as previsões mais confiáveis principalmente para um horizonte de 2 a 3 dias. Acredita-se que os erros de superestimava de cheias encontrados em algumas previsões da vazão afluente ao reservatório estejam relacionados com excesso de chuva prevista pelo modelo meteorológico na região de montante do reservatório.

Os resultados obtidos aqui indicam que é interessante realizar novas previsões a cada dia, buscando resultados mais confiáveis ao menos para os primeiros dias de previsão. De qualquer forma, as previsões obtidas durante todo o horizonte fornecem bom auxílio a tomada de decisão,

pelos agentes de operação do reservatório da UHE Três Marias, para o controle de cheias na região de influência do reservatório.

Atualmente, o sistema operacional de previsão de vazões para a bacia do Rio São Francisco funciona acoplado com um SIG, com o modelo hidrológico MGB-IPH, e com dados de diferentes fontes, é utilizado para a realização de previsões diariamente e tem apresentado funcionamento pleno.

Visando melhorar o desempenho do sistema de previsão desenvolvido, pretende-se dar continuidade a este trabalho através da incorporação de mais fontes de informação (como uso de dados de chuva observada por satélite ou radar) e do uso de previsões meteorológicas por conjunto, que permitem a incorporação das incertezas do processo de modelagem meteorológica na previsão hidrológica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) pelo financiamento do "P&D 353 - Desenvolvimento de Sistema de Previsão de Vazões com Base na Integração de Sistema de Telemetria a Modelos Hidrológicos e de Previsão Climática", dentro do qual este trabalho está inserido.

## REFERÊNCIAS

- AMES, D. P.; MICHAELIS, C.; ANSELMO, A.; CHEN, L.; DUNSFORD, H. MapWindow GIS. Encyclopedia of GIS. New Yor., Springer, p. 633-634. 2008.
- CHOU, S. C., 1996: Regional Eta Model. In *Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Cachoeira Paulista, SP.
- CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A. Extended range forecasts over South America using the regional eta model. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, v. 105, n. D 8, p. 10147-10160, 2001.
- COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. . Previsão Sazonal de vazão na bacia do rio Uruguai 1: Ajuste e verificação do modelo hidrológico distribuído. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 10, n. 4, p. 43-59, 2005.
- COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. . Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 2, 2001.
- MELLER, A.; BRAVO, J.M. & COLLISCHONN, W. (2012). "Assimilação de dados de vazão na previsão de cheias em tempo-real com o modelo hidrológico MGB-IPH". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos: RBRH*, vol.17, n° 3, julho/setembro/2012 (a ser publicado).
- BRAVO, J.M. (2006). *Otimização da operação de um reservatório com base na previsão de vazão*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – IPH/UFRGS. Porto Alegre. 152 p.