

COM QUAL ANTECEDÊNCIA CONSEGUIMOS PREVER CHEIAS NO RIO URUGUAI USANDO UM MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDE ESCALA?

Guilherme Mendoza Guimarães¹; Fernando Mainardi Fan²; Francisco Fernando Noronha Marcuzzo³; Franco Turco Buffon⁴ & Andrea de Oliveira Germano⁵

ABSTRACT – The short and medium-range flow forecasting techniques using large-scale hydrological models have several direct applications in the management of natural disasters through warning systems. The present study is a research study on this type of system, applied in the Uruguay River Basin (RS, SC, Argentina and Uruguay). The objective of this study was to investigate the predictability of critical events at points of interest in the Uruguay river basin. We aimed to evaluate how early it is possible to estimate the peak flow in some sites susceptible to flooding in the basin. For the present research we selected municipalities that will be initially served by the Geological Service of Brazil (CPRM) warning system in the Uruguay river: Garruchos, Itaqui, Porto Lucena, São Borja and Uruguaiana. In the evaluation, the Nash-Sutcliffe Efficiency coefficient (NSE) was used. After the calibration and validation of the model, the predictability analysis was performed based on 15 flood events that occurred between 1980 and 2017 in which the forecasts of daily time-step were compared to a reference simulation. It was verified that there is an increase in the predictability from one day for up to three days, increasing as further downstream the place of interest is located. Also it was evidenced that the predictability especially in Uruguaiana city is dependent on where the floods are originated (higher Uruguay basin or Ibicuí basin). These results constitute useful information that may assist managers in decision making during critical events where forecast are provided by the proposed type of modeling.

Palavras-Chave – Previsão Hidrológica, Sistema de Alerta, Previsibilidade

1) CPRM - Serviço Geológico do Brasil e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. Tel.:(51) 3406-7300. E-mail: gmguimaraess@gmail.com

2) Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rua Bento Gonçalves 9000, Bairro Agronomia, Porto Alegre - RS, Tel.: (51) 3306-6414. E-mail: fernando.fan@ufrgs.br

3) SGB / CPRM - Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Rua Banco da Província, no105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.:(51) 3406-7300. E-mail: francisco.marcuzzo@cprm.gov.br.

4) CPRM - Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Rua Banco da Província, no105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.:(51) 3406-7300. E-mail: franco.buffon@cprm.gov.br

5) CPRM - Serviço Geológico do Brasil / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Rua Banco da Província, no105 - Santa Teresa - Porto Alegre/RS - CEP 90.840-030, Tel.:(51) 3406-7300. E-mail: andrea.germano@cprm.gov.br

1 - INTRODUÇÃO

Desastres relacionados com inundações têm aumentado no Brasil, sendo que de um total de 289 ocorrências registradas pelo EM-DAT (banco de dados internacional de desastres) no período de 1900 a 2009, em torno de 70% são posteriores a 1960 (TOMINAGA, 2009). Este contexto fornece ao Brasil uma posição entre os dez países mais afetados por inundações no mundo e estima-se que, desde a década de 1960, mais de 20 milhões de brasileiros já foram afetados por este tipo de evento (GUHA-SAPIR, BELOW, HOYOIS, 2017).

Com a ocorrência das inundações se tornando mais comum, houve um aumento da consciência pública, política e científica no âmbito da prevenção de riscos a inundações. Dessa forma, houve uma mudança gradual nas medidas adotadas para prevenção de inundações mudando o foco da implementação de medidas estruturais, como por exemplo, a construção de barragens de concreto, para as medidas não estruturais que envolvem ações de planejamento e de gerenciamento, como sistemas de alerta e zoneamento ambiental. Assim, no âmbito das medidas não estruturais, a previsão de vazão é uma ferramenta importante para o gerenciamento das áreas suscetíveis a inundações auxiliando na tomada de decisões. Conseqüentemente, os modelos de previsão hidrológica em conjunto com sistemas de alerta proporcionam benefícios significativos, permitindo alerta e evacuação da população, relocação de bens materiais e gerenciamento da infraestrutura afetada, sendo tal sistema reconhecido como uma das medidas mais efetivas de mitigação deste tipo de desastre natural (ALFIERI *et al.*, 2012; MOORE *et al.*, 2005).

No presente trabalho o estudo de caso é a bacia do rio Uruguai, localizada no Brasil nos estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e fora do Brasil na Argentina e Uruguai. A Figura 1 apresenta a localização da bacia.

A escolha da bacia do rio Uruguai para a realização das análises aqui propostas justifica-se pela grande ocorrência de eventos de inundações nesta bacia, os quais causam elevados prejuízos às cidades ribeirinhas que perpassam o rio Uruguai, conforme levantamento realizado por Righi e Robaina (2010), que identificaram 41 eventos de inundações nessa bacia hidrográfica entre 1980 e 2005. Em concomitância a este projeto está a implementação do projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai” pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que visa o desenvolvimento e a operacionalização de um sistema de alerta hidrológico para a região, planejando atender inicialmente os municípios de Garruchos, Itaqui, Porto Lucena, São Borja e Uruguiana (PEDROLLO *et al.*, 2017).

O presente estudo teve como objetivo principal investigar a previsibilidade de eventos críticos em pontos de interesse na bacia do rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala. Este objetivo pode ser simplificado na seguinte pergunta: com qual antecedência conseguimos prever cheias no rio Uruguai usando um modelo hidrológico de grande escala?

Tal procedimento permite inferir qual a confiabilidade de previsões hidrológicas ao longo dos horizontes de previsão, auxiliando, assim, na interpretação de resultados de sistemas de previsão a serem desenvolvidos para a bacia.

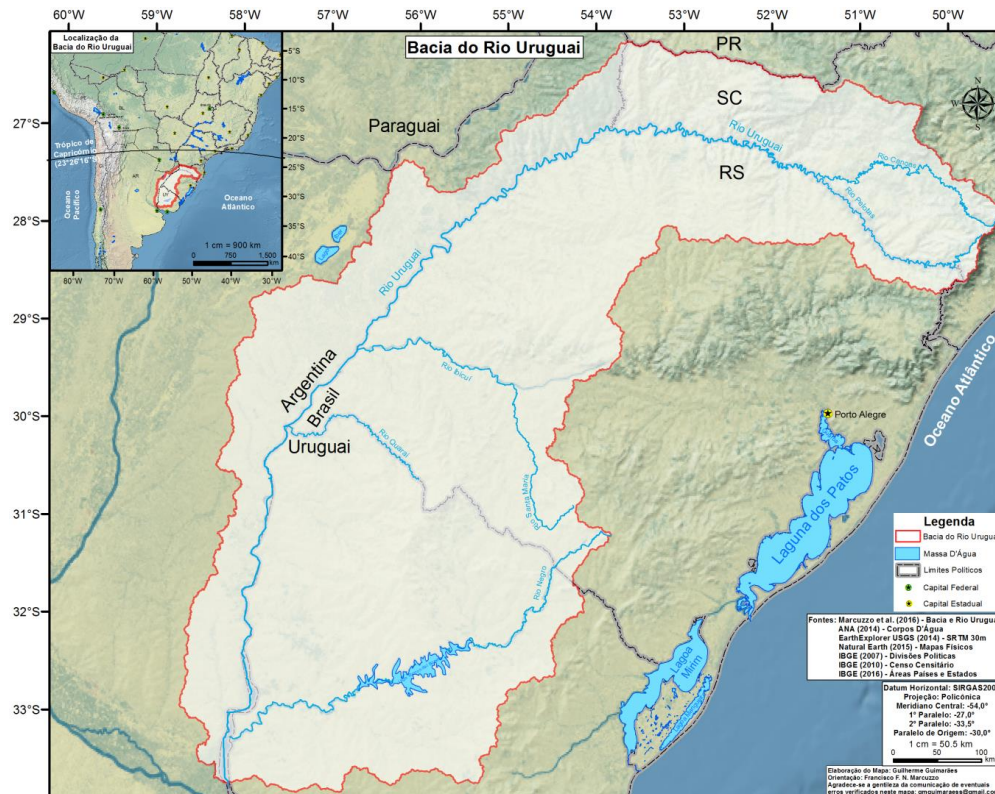


Figura 1 - Localização da bacia do rio Uruguai.

2 - METODOLOGIA

A seguir são destacados os principais pontos da metodologia empregada no presente trabalho. Inicialmente são apresentadas as áreas de interesse para o estudo. Posteriormente é apresentado o modelo hidrológico utilizado, incluindo a sua calibração. E, ao final da sessão, são apresentados os métodos e métricas usados na investigação sobre a previsibilidade.

2.1 - Localidades de interesse

As enchentes na Região Hidrográfica do Rio Uruguai atingem principalmente a população ribeirinha ao longo do rio principal e em alguns de seus afluentes. Entre os municípios mais acometidos por enchentes nessa região estão Garruchos, Iraí, Itaqui, Marcelino Ramos, Nonoai, Porto Lucena, Porto Mauá, Porto Xavier, Quaraí, São Borja, Uruguiana e Vicente Dutra. Sendo que os municípios de Itaqui, São Borja e Uruguiana tiveram mais de 20 ocorrências de enchente entre os anos de 1987 e 2005 e os municípios de Porto Xavier, Iraí e Porto Lucena tiveram 11, nove e oito ocorrências, respectivamente, segundo a análise de Righi e Robaiana (2010). Posto tal motivo, o projeto “Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Uruguai” instituído pela CPRM visa à implementação de um sistema de alerta na bacia do Rio Uruguai (PEDROLLO *et al.*, 2017).

Para a presente pesquisa escolheu-se alguns dos municípios que serão inicialmente atendidos pelo sistema de alerta da CPRM no rio Uruguai: Garruchos, Itaqui, Porto Lucena, São Borja e Uruguaiana (Figura 2), correspondendo aproximadamente a uma população de 240.000 habitantes que poderão ser beneficiados pelo sistema.

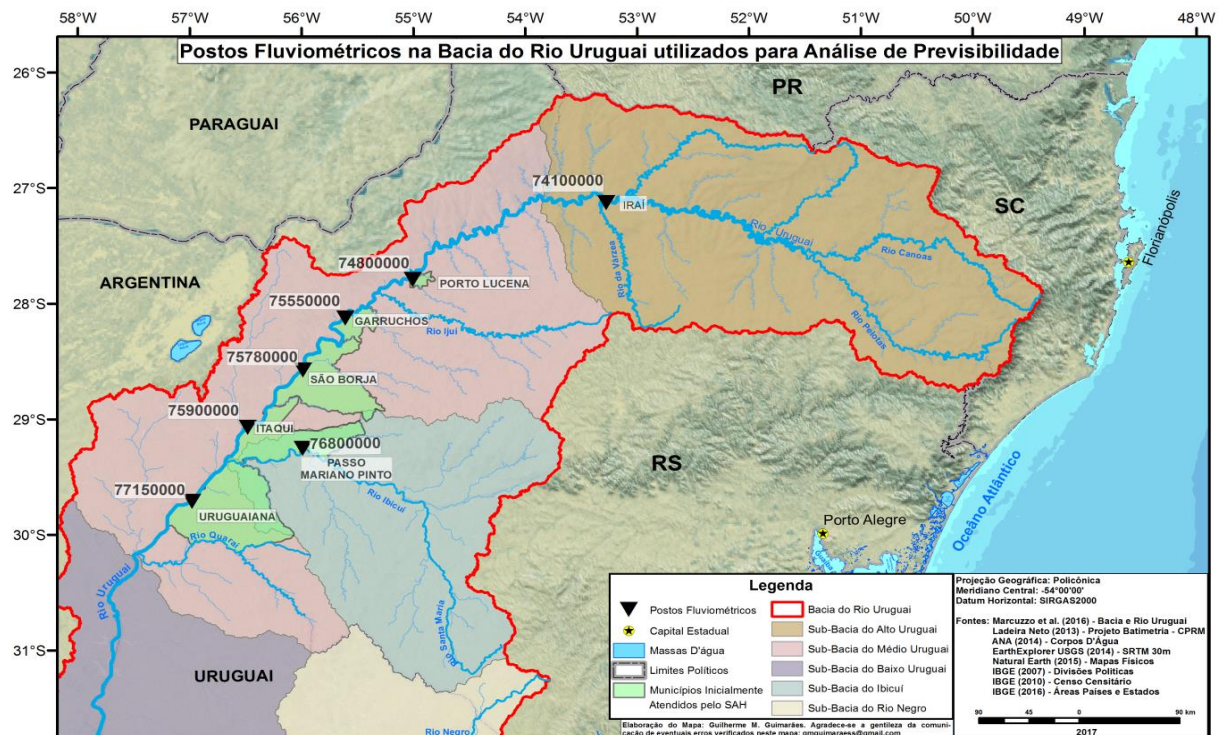


Figura 2 - Municípios inicialmente atendidos pelo sistema de alerta hidrológico desenvolvido pela CPRM na bacia do rio Uruguai.

2.2 - Modelagem Hidrológica

Utilizou-se o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), com o intuito de simular os processos de transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (COLLISCHONN *et al.*, 2007). Este modelo tem sido amplamente utilizado para a previsão de vazão em bacias hidrográficas brasileiras (FAN *et al.*, 2015; SIQUEIRA, 2015).

Para a calibração do MGB-IPH na bacia foi selecionado o período entre janeiro de 1980 e abril de 2017, cuja escolha do longo período se deu em função da elevada disponibilidade de dados, além da ocorrência de grandes eventos de cheia registrados, como o de julho de 1983, o qual foi o maior evento já registrado nessa bacia. Os resultados finais da calibração foram considerados suficientes considerando os índices de eficiência de Nash Sutcliffe (NSE), Nash Sutcliffe do logaritmo das vazões (NSELOG) e erro de volume (ΔV), vide Tabela 1. Todos os postos fluviométricos apresentaram valores acima de 0,73 e 0,75 para NSE e NSELOG, respectivamente. Além disso, os erros de volume associados entre os hidrogramas calculados e observados foram pouco substanciais, com valores variando entre aproximadamente -10% a 6%.

Tabela 1 - Índices de eficiência do MGB-IPH para a bacia do Uruguai - período de calibração.

Código	Nome da Estação	NSE	NSE _{LOG}	ΔV [%]
74100000	Iraí	0,766	0,754	3,8
74800000	Porto Lucena	0,737	0,791	5,1
75550000	Garruchos	0,881	0,841	6,4
75780000	Passo São Borja	0,886	0,868	-0,4
75900000	Itaqui	0,743	0,803	5,4
76800000	Passo Mariano Pinto	0,797	0,886	-10,2
77150000	Uruguiana	0,862	0,883	-0,9

2.3 - Análise de previsibilidade

A previsibilidade é a estimativa da degradação de uma dada previsão ao longo dos horizontes de previsão, ou seja, é a medida de até qual horizonte de previsão conseguimos fornecer informações e conhecimento sobre eventos que estão por acontecer. Fisicamente, o conceito de previsibilidade está associado ao caos determinístico em que para determinados sistemas há uma forte dependência de suas condições iniciais e de suas condições de contorno e, conseqüentemente, o conhecimento do estado do sistema durante um tempo arbitrariamente longo não permite predizer, de maneira imediata, sua evolução posterior.

Assim sendo, essa incerteza quanto às condições iniciais limita a previsibilidade do sistema. Tal limitação da previsibilidade em sistemas hidrológicos se deve ao fato da não linearidade dos processos hidrológicos, aliada à incerteza da estrutura de modelos hidrológicos, dos parâmetros utilizados, e das condições iniciais do sistema. No caso específico do presente estudo, a principal variável analisada foi à incerteza em relação à chuva no futuro.

Para estudar a previsibilidade nos pontos de interesse no rio Uruguai realizaram-se simulações com até cinco dias de antecedência em relação ao pico de vazão de cheias identificadas nos hidrogramas dos pontos de interesse. Para estas simulações hidrológicas, zeraram-se os dados de precipitação na bacia de acordo com o tempo de antecedência em relação ao pico de vazão analisado. Exemplificando conforme o apresentado a Figura 3: para um tempo de antecedência de um dia em relação ao pico de vazão, a simulação foi realizada com dados de precipitação observados até o dia 01/06/2017; para um tempo de antecedência de dois dias, a simulação foi realizada com dados de precipitação observados até o dia 31/05/2017; e, assim, sucessivamente. Foram analisados 15 eventos de cheia em cada posto fluviométrico.

Após as simulações, para avaliar os resultados, utilizou-se novamente a métrica de NSE para investigação do desempenho. É importante ressaltar que a análise foi realizada em relação à vazão simulada e não à observada, excluindo o viés do modelo da análise. Tal análise permite determinar a máxima antecedência que pode ser adquirida sem o uso de previsões quantitativas de precipitação, além de proporcionar conhecimento sobre o momento em que a previsão de

precipitação causa maior efeito no comportamento do hidrograma (SIQUEIRA, 2015). Porém, ressalta-se que devido a análise ser realizada em relação a simulações de referência, assumindo uma condição de modelo perfeito, a previsibilidade obtida é uma previsibilidade teórica, que é certamente maior que a previsibilidade real em cada ponto de interesse.

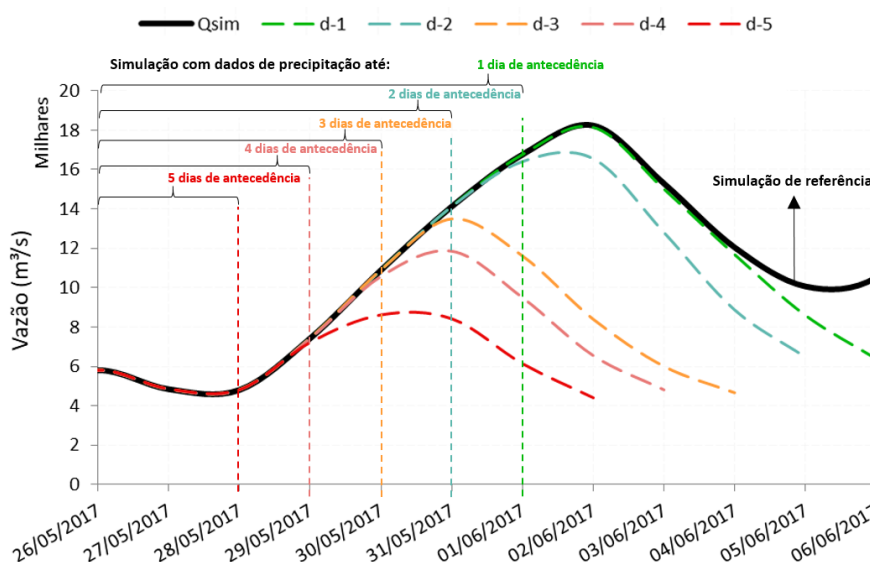


Figura 3 - Metodologia utilizada para análise de previsibilidade.

3 - RESULTADOS

Os resultados de previsibilidade em relação ao NSE para o rio Uruguai podem ser encontrados na Figura 4a para a localidade de São Borja, e na Figura 4b para a localidade de Uruguiana. Nas figuras cada linha cinza apresenta a variação do NSE de uma previsão ao longo dos seus respectivos horizontes (até cinco dias). E a linha vermelha destaca a mediana dos valores. Nota-se que com o aumento dos horizontes de previsão a qualidade das previsões diminui, o que é evidenciado pela diminuição gradual dos valores de NSE.

A Tabela 2 resume os valores encontrados para todos os locais analisados, e traz junto com ela a previsibilidade estimada para cada um dos locais, adotando como limiar aceitável o valor de NSE igual a 0,5.

Destaca-se nestes resultados a relação entre a estação de Itaqui, de Uruguiana (ambas no rio Uruguai) e de Passo do mariano Pinto (no rio Ibicuí). Como Uruguiana está a jusante de Itaqui, poder-se-ia esperar uma previsibilidade maior neste ponto, seguindo a tendência encontrada de aumento da previsibilidade na direção de montante para jusante. Porém, a previsão em Uruguiana também depende da ocorrência de cheias no rio Ibicuí, que possui previsibilidade estimada em dois dias. Assim, destaca-se o fato de Uruguiana ter sua previsibilidade dependente

de onde são formadas as cheias. Caso as cheias na cidade fossem oriundas exclusivamente da região do alto rio Uruguai, a previsibilidade poderia ser maior do que três dias. Porém, como algumas cheias são oriundas do rio Ibicuí e chegam mais rapidamente na cidade, estas diminuem a previsibilidade global para este município, que resulta média em três dias. Um maior detalhamento dos resultados obtidos pode ser verificado em Guimarães (2018).

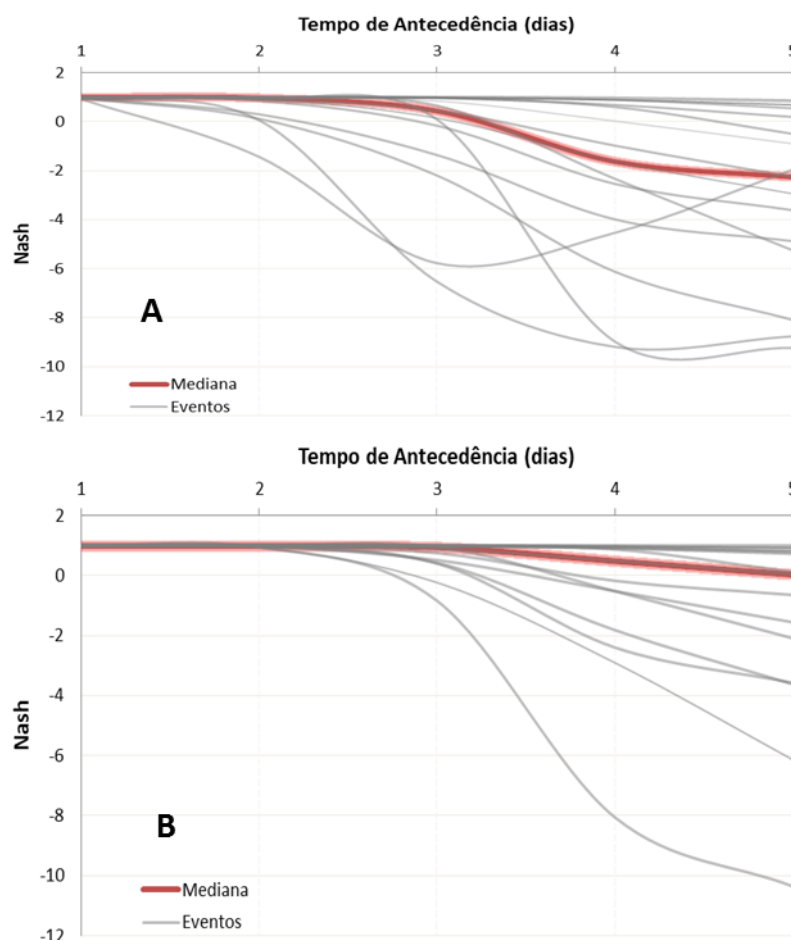


Figura 4 – Análise de previsibilidade em: a) São Borja e b) Uruguiana.

Tabela 2 - Resultado dos coeficientes da análise de previsibilidade. Em destaque, valores acima de 0,5.

Código	Nome da Estação	NSE (1d; 2d; 3d; 4d; 5d)	Previsibilidade
74100000	Iraí	0,98 ; 0,31; -2,53; -5,17; -6,51	1 dia
74800000	Porto Lucena	1,00 ; 0,86 ; -0,46; -2,88; -4,93	2 dias
75550000	Garruchos	1,00 ; 0,95 ; 0,26; -1,77; -2,86	2 dias
75780000	Passo São Borja	1,00 ; 0,97 ; 0,45; -1,62; -2,25	2 dias
75900000	Itaqui	1,00 ; 1,00 ; 0,88 ; -0,13; -0,85	3 dias
76800000	Passo Mariano Pinto	1,00 ; 0,54 ; -2,23; -7,23; -6,10	2 dias
77150000	Uruguiana	1,00 ; 1,00 ; 0,95 ; 0,49; 0,04	3 dias

4 - CONCLUSÃO

Quanto aos resultados obtidos, verifica-se tanto a influência da localização espacial das estações quanto da distribuição espacial da precipitação na bacia. Nesta perspectiva, há um incremento da previsibilidade quanto mais à jusante o posto fluviométrico estiver localizado (ou seja, com maior área da bacia), com as estações de Itaqui e Uruguiana apresentando a maior previsibilidade (três dias). Ainda, a influência da distribuição espacial da precipitação pode ser analisada comparando os eventos cuja propagação da onda de cheia é proveniente do rio Ibicuí (estação Passo do Mariano Pinto) com os eventos em que a onda de cheia provém do alto rio Uruguai (Itaqui). Onde a previsibilidade em Uruguiana só não é maior por que as cheias que ali chegam podem ser provenientes tanto do rio Ibicuí ou do alto rio Uruguai.

Em suma as estações do médio Uruguai apresentaram previsibilidade de dois a três dias de antecedência e estes resultados constituem uma informação útil que poderá auxiliar gestores na tomada de decisão durante eventos críticos previstos pela modelagem do tipo proposta.

REFERÊNCIAS

- ALFIERI, L. *et al.* Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. **Environmental Science & Policy**, v. 21, p. 35-49, 2012.
- COLLISCHONN, W. *et al.* The MGB-IPH model for large scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 5, p. 878 a 895, 2007.
- FAN, F. M. *et al.* Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. **Flood Risk Management**, v. 9, n. 3, p. 278 – 288, 2015.
- GUHA-SAPIR, D.; BELOW, R.; HOYOIS, P. **EM-DAT: International Disaster Database**, Université Catholique de Louvain, Bruxelas, Bélgica. Disponível em: <www.emdat.be>. Acesso em 26 mar. 2017.
- GUIMARÃES, G. M. Análise de previsibilidade de cheias na bacia do rio Uruguai através do modelo MGB-IPH. 2018. 173 f. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Ambiental, UFRGS/IPH, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/>>. Acesso: 2018.
- MOORE, R. J. *et al.* **Forecasting for Flood Warning**. Comptes Rendus Geoscience, v. 337, n. 1-2, p. 203-217, 2005.
- PEDROLLO, M. C. R.; SOTÉRIO, P. W.; GERMANO, A. O. Metodologia para definição de cotas de referência em sistemas de alerta e previsão hidrológica. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS São Paulo. **Anais...** 2017.
- RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. S. Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul Entre 1980 e 2005: Uma Análise Geográfica. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 35 – 54, 2010.
- SIQUEIRA, V. A. Previsão de Cheias por Conjunto em Curto a Médio Prazo: Bacia do Taquari-Antas/RS. **Dissertação** (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), 168 f. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- TOMINAGA, L. K. (2009). Desastres Naturais. Por que Ocorrem? In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 196p. 2009.