

Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/4, Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais: 827-836  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **PREVISÕES DE CHEIAS EXTREMAS NOS HORIZONTES SAZONAIS E DE CURTO E MÉDIO PRAZOS NA BACIA DO RIO MADEIRA: ESTUDO DE CASO DA ENCHENTE DE 30 DE MARÇO DE 2014 EM PORTO VELHO**

*Extreme Flood Forecast In Sazonal And Short And Medium Range In The Madeira Basin. Study Case: The Flood Of March 30, 2014 In Porto Velho*

**Daniel Andres Rodriguez<sup>1</sup>, Lucas Garofolo Lopes<sup>2</sup>, Felix Carriello<sup>3</sup>, José Lázaro Siqueira Júnior<sup>2</sup>, Gustavo Luiz Pinto<sup>2</sup>, Javier Tomasella<sup>4</sup>, Sin Chan Chou<sup>5</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ**

**Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE**  
Centro de Tecnologia 2 (CT 2) - Rua Moniz Aragão Nº 360, Bloco 1 - Ilha do Fundão - Cidade Universitária  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil - CEP: 21941-594  
daniel.andres@coc.ufrj.br

**<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**

**Centro de Ciência do Sistema Terrestre - CCST**  
Rodovia Presidente Dutra Km 40 - Cachoeira Paulista, SP, Brasil - CEP: 12630-000  
lucas.garofolo@inpe.br, joselazarosiqueira@gmail.com, gustavo.pinto.crz@hotmail.com

**<sup>3</sup>Universidade Federal Fluminense - UFF**

**Departamento de Análise Geoambiental – GAG/IGEO**  
Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/nº - Campus da Praia Vermelha - Boa Viagem, Niterói - RJ – Brasil  
CEP: 24210-346  
felixcarriello@id.uff.br

**<sup>4</sup>Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN**

**Coordenação geral de pesquisa e desenvolvimento**  
Rodovia Presidente Dutra Km 40, Cachoeira Paulista, SP, Brasil - CEP: 12630-000  
javier.tomasella@cemaden.gov.br

**<sup>5</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**

**Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC**  
Rodovia Presidente Dutra Km 40 - Cachoeira Paulista, SP, Brasil - CEP: 12630-000  
chou.sinchan@cptec.inpe.br

*Recebido em 3 de Novembro, 2015/ Aceito em 2 de Fevereiro, 2017*

*Received on November 3, 2015/ Accepted on February 2, 2017*

### **RESUMO**

A previsão de níveis de rios é um elemento importante de um sistema de alertas de desastres associados com eventos hidrológicos extremos. Neste trabalho é apresentado o uso de previsões de tempo de curto e médio prazo e de previsões climáticas sazonais por conjunto para monitoramento de cheias extremas em grandes bacias hidrográficas. Os resultados do estudo de caso da cheia no Rio Madeira em Porto Velho no ano hidrológico 2013-2104, que teve seu pico em 30 de março de 2014, apresentam um bom desempenho do acoplamento entre o modelo atmosférico Eta-INPE e o modelo

hidrológico MHD-INPE para as previsões de vazões. As análises sugerem que as previsões sazonais podem ser utilizadas para indicar a potencial ocorrência de um evento acima dos limiares de alerta e de emergência, enquanto que as previsões de tempo auxiliam na estimativa dos valores extremos uma vez estabelecida a onda de cheia. Este tipo de utilização conjunta de previsões em diferentes escalas permite focalizar com maior antecedência as regiões de impacto potencial.

Palavras-chave: Previsão de Eventos Extremos, Modelagem Hidrológica, MHD-INPE, Eta-INPE, Bacia do Rio Madeira.

## ABSTRACT

The forecast of river levels is an important element of a system for alerts for disaster associated to extreme hydrological events. This work presents the use of short and medium-term weather forecast and climate ensemble seasonal forecast for monitoring extreme floods in large-scale basins. The results for this study-case on the Madeira River in Porto Velho during the hydrologic year of 2013-2014, which peaks in March 30, 2014, shows an adequate performance of the coupling between the atmospheric model Eta-INPE and the hydrological model MHD-INPE. The analyzes suggest that seasonal forecasts can be used to indicate the potential occurrence of events above the warning and emergency thresholds, while weather forecasts help in the estimation of extreme values once established the flood wave. This combined use of forecasts in different scales helps to focus in advance on potentially impacted regions.

**Keywords:** Forecast of Extreme Events, Hydrologic Modelling, MHD-INPE, Eta-INPE, Madeira River.

## 1. INTRODUÇÃO

A previsão de cheias, associada com eventos hidrológicos extremos, é um elemento importante de um sistema de alertas de desastres naturais. Nesses casos, a utilização de previsões imediatas (nowcasting, até 6 h) e de previsões de curto prazo (entre 6 e 72 h) possui um enorme potencial para minimizar os danos das enchentes (MUSY *et al.*...,2014). Ainda, previsões de médio prazo (entre 72 h e 12 dias) podem ser utilizadas para a previsão de cheias em grandes bacias, uma vez que a dinâmica do escoamento depende fortemente do volume de água acumulado com maior antecipação e transportado pela rede de drenagem a jusante. No caso de previsões imediatas, elas são geralmente baseadas em sistemas de estimativa de chuvas por radar ou satélite (FALCK *et al.*..., 2015), enquanto as previsões de curto e médio prazo utilizam modelos numéricos iniciados nas condições observadas.

Por outro lado, a previsão hidrológica utiliza as previsões climáticas sazonais para estimar, em termos probabilísticos, os volumes afluentes. Um exemplo é a estimativa da disponibilidade de água em reservatórios para abastecimento e/ou produção de energia (MUSY ., 2014). A utilidade deste tipo de previsões reside no seu potencial para auxiliar na determinação de estratégias de manejo que considerem o risco de ocorrência de algum tipo de restrição.

No caso de previsão de cheias voltado para a mitigação dos desastres, o interesse principal é voltado à previsão do momento de ocorrência de um valor extremo, informação pouco precisa no caso das previsões climáticas sazonais.

Não obstante, estas previsões proveem estimativas sobre o risco de ocorrência de um determinado evento dentro do horizonte de previsão. Por exemplo, elas são aplicadas para o estudo da permanência de vazões médias iguais ou superiores a um determinado limiar. Assim, as previsões climáticas sazonais, podem ser utilizadas para indicar a potencial ocorrência de eventos que superem as cotas de alerta e de emergência em um determinado local.

Este trabalho apresenta um protótipo de previsões de ocorrência de eventos de cheia extraordinária, aplicado para o estudo do caso dos níveis do Rio Madeira em Porto Velho-RO- durante a cheia do ano hidrológico 2013-2014, que teve seu pico no dia 30 de março de 2014. Previsões climáticas sazonais são exploradas com o intuito de determinar o potencial de previsão da ocorrência de níveis acima dos níveis de alerta e de emergência. Finalmente, as previsões de tempo de curto e médio prazo são utilizadas para analisar o potencial de previsão do momento e magnitude do valor máximo observado durante a cheia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área e o evento em estudo são apresentados a seguir, assim como os dados e modelos utilizados.

### 2.1 A bacia do Rio Madeira e a cheia de 2013-2014

O Rio Madeira é um dos mais importantes tributários do Rio Amazonas, a mais extensa

rede hidrográfica mundial, estendendo-se por Bolívia, Brasil e Peru (Figura 1). Parte dos seus afluentes (Madre de Dios, Beni, Mamoré, Guaporé e Grande) nascem a grandes altitudes na Cordilheira dos Andes, correm em direção às vastas planícies de inundação do centro da Bolívia, para finalmente atingirem saltos e cachoeiras na região de contato com o escudo brasileiro.

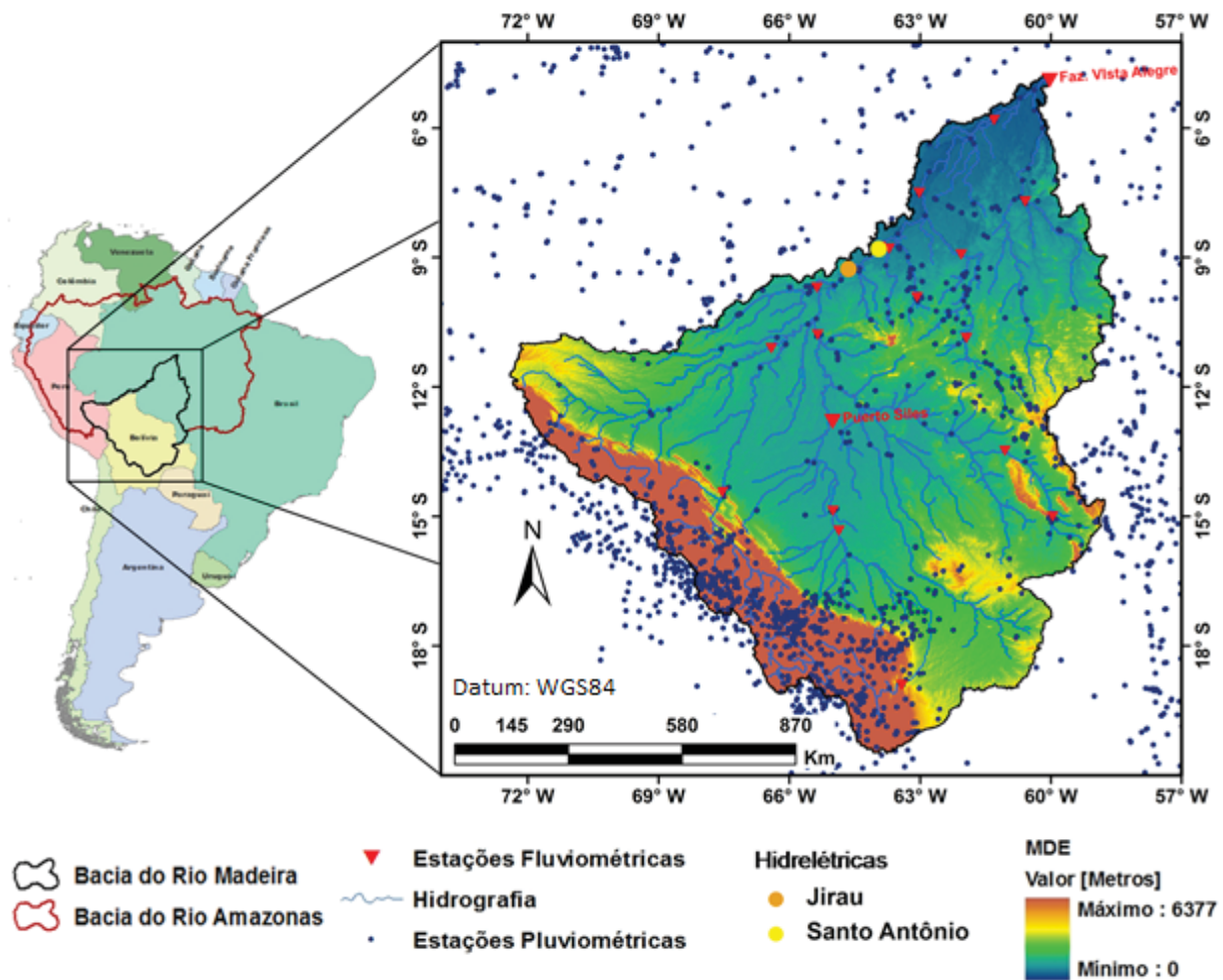


Fig. 1 – Bacia do Madeira. Modelo digital de elevação (MDE em metros), rede de drenagem e localização de estações pluviométricas e fluviométricas. Datum: WGS84.

A bacia do Rio Madeira possui área de drenagem de 1.420.000 km<sup>2</sup>, precipitação média anual de 1.834 mm e vazão média anual de 31.704 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Nas sub-bacias andinas da Bolívia e do Peru, o efeito do relevo é intenso e interfere no regime de precipitações, atingindo valores extremos superiores a 5.000 mm/ano (ESPINOZA *et al.*..., 2009a). A bacia se caracteriza por um clima quente e úmido (clima equatorial) com temperatura média anual

variando entre 24 e 26 °C na planície Amazônica.

Recentemente, a região Amazônica tem atraído a atenção da comunidade científica, devido à ocorrência de eventos extremos, todos com cerca de 100 anos de recorrência, incluindo secas hidrológicas severas 2005 e 2010 (MARENGO *et al.*..., 2011; TOMASELLA *et al.*..., 2011; ESPINOZA *et al.*..., 2011; BORMA *et al.*..., 2013) e grandes inundações 2009, 2012 e 2014 (MARENGO *et al.*..., 2013, OVANDO

et al., 2016). A ocorrência destes eventos está relacionada com precipitações abundantes, correlacionadas com condições anômalas na temperatura da superfície dos Oceanos, as quais condicionam a variabilidade climática na região (MARENGO E ESPINOZA 2015, ESPINOZA et al., 2009ab).

Em particular, a cheia extrema do ano hidrológico 2013-2014, que afetou a bacia do Rio Madeira, foi consequência dos altos montantes de precipitações associados com condições anômalas de temperatura da superfície dos Oceanos Pacífico-Índico e Atlântico Sul Tropical (ESPINOZA et al., 2014). O padrão de distribuição espacial e temporal das chuvas nas planícies da Bolívia determinaram que a onda de cheia no sistema de drenagem do Mamoré-Guaporé entrasse em fase com a onda de cheia do sistema Beni-Madre de Dios em Abunã (OVANDO et al., 2016). No município de Porto Velho, o nível do rio Madeira atingiu a cota de alerta de 14,19m no dia 12 de janeiro, a cota de emergência de 15 m no dia 31 de janeiro e, finalmente, a máxima altura de 19,74 m foi registrada no dia 30 de março de 2014. De acordo com a série histórica na estação, esta foi a maior altura do rio registrada até o momento.

Durante este evento, a Secretaria de Saúde do Estado de Rondônia reportou 11 municípios afetados, sendo sete em estado de alerta, três em emergência e um, Porto Velho, em estado de calamidade. De acordo com a Defesa Civil, (<http://s2id.mi.gov.br>) o número de afetados superou a centena de milhares. A cheia afetou o tráfego nas principais estradas do Estado, isolando municípios e comunidades.

## 2.2 Previsões atmosféricas Sazonais e de Tempo com o modelo regional Eta-INPE

O modelo atmosférico regional Eta-INPE (MESINGER et al., 2012) é atualmente o modelo operacional no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A dimensão vertical no modelo Eta-INPE é discretizada utilizando a coordenada eta que permite uma melhor representação da topografia (MESSINGER, 1984). No modelo Eta-INPE, a parametrização dos processos turbulentos permite a previsão de energia cinética turbulenta (MELLOR & YAMADA, 1982). Os

processos à superfície são representados neste modelo através do esquema numérico NOAH (EK et al., 2003) enquanto que a representação da precipitação convectiva segue o esquema numérico de Betts-Miller-Janjic (JANJIC, 1994).

O modelo Eta-INPE é atualmente utilizado operacionalmente no CPTEC/INPE em escala de tempo (MESINGER et al., 2012), sazonal (CHOU et al., 2005) e em projeções de mudanças climáticas (CHOU et al., 2012, 2014a, 2014b, MARENGO et al., 2012). Para este estudo foram utilizadas previsões de tempo de curto e médio prazo, até 11 dias, e previsões climáticas sazonais, até 4 meses, ambas com resolução espacial de 40 Km. As previsões de tempo de curto e médio prazo são inicializadas todos os dias, às 00 e 12 UTC, e foram utilizadas as previsões inicializadas entre os dias 18 e 29 de março de 2014. As previsões climáticas sazonais contam com 5 membros inicializados em diferentes dias na primeira quinzena do mês. Neste estudo foram utilizadas as previsões climáticas sazonais inicializadas no período entre setembro de 2013 e fevereiro de 2014. Ambas previsões foram utilizadas para alimentar o modelo hidrológico MHD-INPE para obter previsões de vazões nestas escalas. Este modelo é descrito no item seguinte.

## 2.3 Simulações e Previsões Hidrológicas com o modelo MHD-INPE

O Modelo Hidrológico Distribuído do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MHD-INPE) (SIQUEIRA JÚNIOR et al., 2015, RODRIGUEZ & TOMASELLA, 2016, RODRIGUEZ, 2011), foi desenvolvido com base no MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2007a), com alterações nas rotinas de estimativa de evaporação e geração de escoamento. A parametrização do MHD-INPE combina a formulação probabilística de distribuição de colunas de água nos pontos de grade como no modelo Xinanjiang (ZHAO & LIU, 1995) com os princípios utilizados no TOPMODEL (BEVEN & KIRKBY, 1979) para simular a resposta hidrológica. A perda d'água por interceptação é simulada através 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). A evapotranspiração



potencial é calculada utilizando o método proposto por Penman-Monteith (ALLEN, *et al.*, 1998), diretamente no modelo hidrológico. A restrição imposta à transpiração pelo incremento na evaporação potencial é considerada através da abordagem proposta por Feddes (1994). Quando ocorre o aumento do nível da água acima das margens do canal principal, o modelo realiza o extravasamento de água do rio para às células de planície que possam existir. As trocas de água entre canal e planície podem ocorrer para todas as seções transversais dos canais principais e para os elementos de planície interconectados.

O modelo hidrológico foi calibrado e validado utilizando dados hidrometeorológicos observados, considerando os coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões (NS) e do logaritmo das vazões (logNS) (MORIASI *et al.*, 2007, SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2015)

A previsão hidrológica no modelo MHD-INPE utiliza um esquema de assimilação dos dados de vazões observados para correção das simulações com o intuito de obter as condições iniciais do sistema no dia da previsão (COLLISCHONN *et al.*, 2007b). Esta metodologia utiliza um fator de correção a partir da comparação das vazões observadas e simuladas, que é aplicado para a atualização das vazões e o estado de umidade iniciais da bacia (COLLISCHONN *et al.*, 2007b).

Considerando que os níveis registrados na estação fluviométrica de Porto Velho superaram as cotas de emergência no mês de janeiro e que o pico de cheia aconteceu no mês de março, as análises de previsões sazonais de vazões foram centradas nas previsões realizadas para o período compreendido desde janeiro até março de 2014. Por outro lado, na escala de curto e médio prazo, foram analisadas as previsões das vazões para os dias 19 até 30 de março de 2014.

### 3. RESULTADOS

Neste tópico são apresentados os resultados da implementação e calibração do modelo hidrológico, e das previsões de vazões nas diferentes escalas temporais.

#### 3.1 Simulações e Previsões Hidrológicas com o modelo MHD-INPE

O modelo MHD-INPE foi calibrado na bacia do Rio Madeira para simular as séries

históricas de vazões no período 1970-1990 (SIQUEIRA JUNIOR *et al.*, 2015) e validado no período 2008-2014 (Fig. 2). Os coeficientes de performance do modelo apresentam valores satisfatórios (MORIASI *et al.*, 2007), que aumentam a confiança nos seus resultados. A tabela 1 mostra os coeficientes de performance do modelo na estação localizada em Porto Velho.

Tabela 1: Coeficientes de eficiência na estação de Porto Velho

Período	NS	logNS
1970-1990 Calibração <small>(Siqueira Júnior et al. 2015)</small>	0,83	0,85
2008-2014 Validação	0,88	0,83

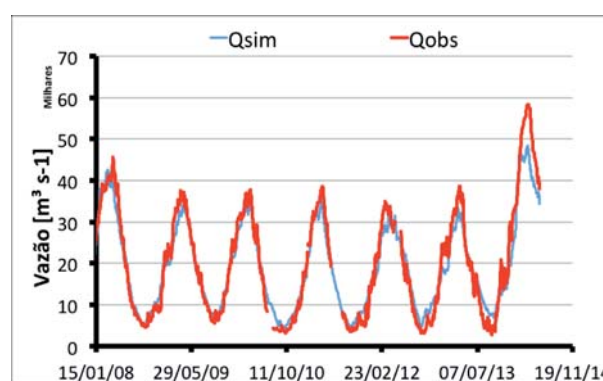


Fig. 2 – Validação das simulações de vazões com o MHD-INPE.

No caso deste estudo o modelo subestima o hidrograma de cheia em Porto Velho com um erro de -9% no valor do pico. O valor da cota observada na estação superou a cota de alerta de 14,19 m no dia 12 de Janeiro, enquanto na simulação este limiar é superado em 27 de janeiro. A cota de emergência em Porto Velho, de 15 m, foi superada pelo nível do rio Madeira em 31 de janeiro de 2014, enquanto as simulações superam este limiar um dia antes, em 30 de janeiro.

#### 3.2 Previsões hidrológicas

As previsões sazonais indicam a severidade da cheia já nas previsões iniciadas em setembro (Figura 3A) com alguns dos membros sugerindo que as cotas poderiam superar as cotas de alerta e de emergência. As previsões iniciadas em novembro e dezembro indicam a possibilidade de cotas acima do valor de alerta e do de emergência no mês de janeiro (Fig. 3A). Finalmente, as previsões para fevereiro e março, sugerem valores de cotas máximas na ordem dos valores observados (Fig3B, 3C).

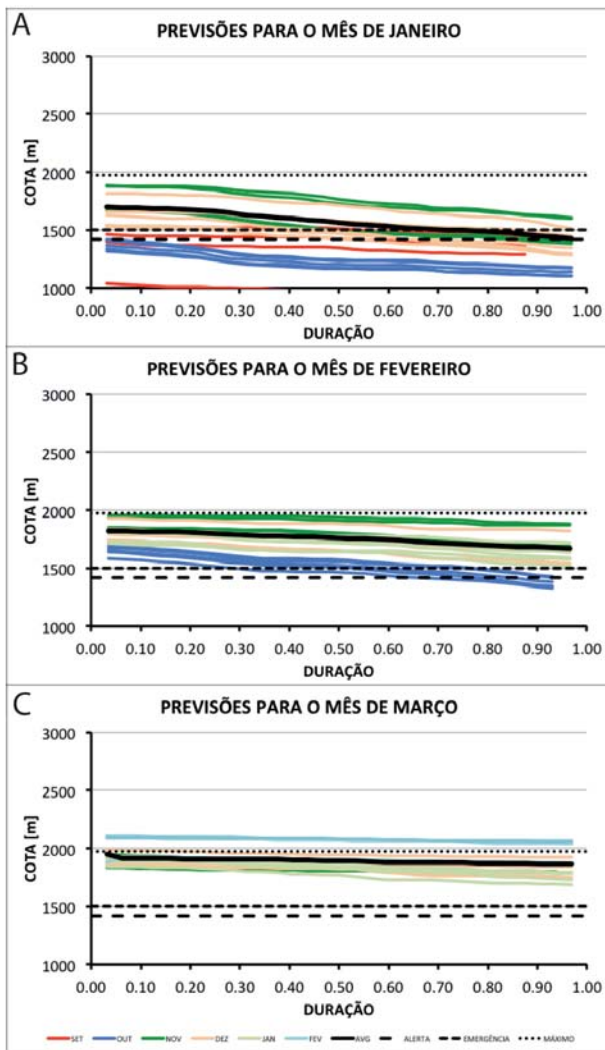


Fig. 3 – Curvas de Duração de Vazões das previsões sazonais.

As previsões de tempo utilizadas no estudo iniciam no dia 19 de março e finalizam no dia 29 de março, com dois horários diários 00 e 12 h GMT. Todas as previsões hidrológicas apresentam o incremento do nível do rio, atingindo a altura máxima no último dia de previsão (Figura 4).

O erro na previsão do nível no dia 30 de março, de ocorrência do pico observado, varia entre uma subestimativa de -7% e uma superestimativa de 13% de acordo com a antecedência. As superestimativas são apresentadas pelas previsões de maior antecedência, até 156 horas, enquanto que as previsões mais próximas da data de ocorrência do pico apresentam subestimativa do valor máximo observado (Figura 5a).

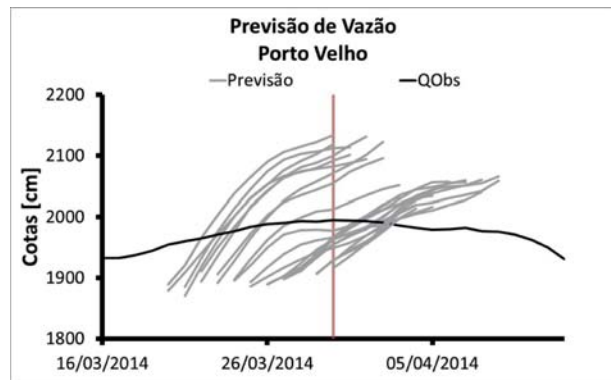


Fig. 4 – Previsões de nível do rio de curto e médio prazo. A linha vermelha indica o dia de ocorrência do valor máximo

A evolução do valor médio das previsões de tempo para o dia de ocorrência do pico é calculada utilizando as previsões disponíveis a cada dia (Fig.5b). Os valores médios apresentam sempre superestimativa do valor observado. O erro associado com a média das previsões é menor que 10% e diminui com a incorporação de novas previsões de tempo de menor antecedência, atingindo valores menores de 5% a partir de 6 dias de antecedência.

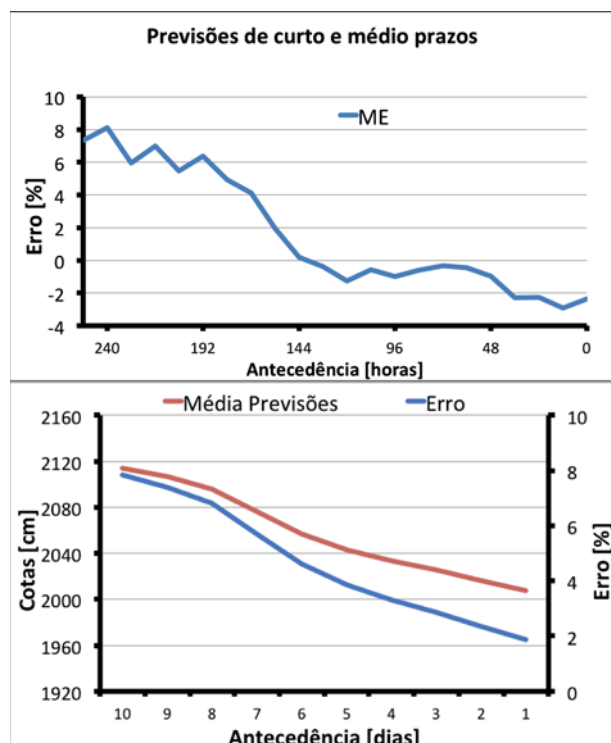


Fig. 5 – Erro da previsão do nível do rio no dia 30 de março para cada antecedência (A) e da média de todas as previsões disponíveis a cada dia (B).

#### **4. DISCUSSÃO**

O modelo hidrológico MHD-INPE se mostra adequado para a representação dos processos hidrológicos que condicionam a resposta hidrológica na bacia do Rio Madeira (SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*., 2015), inclusive fora de seu período de calibração. Não obstante, sua boa performance, na aplicação do caso particular da cheia de 2013-2014 na cidade de Porto Velho –RO, existe uma subestimativa do hidrograma de cheia e do pico por parte do modelo, assim como um adiantamento na ocorrência do valor máximo com respeito às observações. A subestimativa de valores picos tem sido relatada como uma limitação de modelos hidrológicos onde a partição chuva-vazão é realizada sob supostos de quase-estacionareidade, sem levar em conta o comportamento altamente não linear e regido por limiares frequentemente observados nas bacias. Por outro lado, o adiantamento na ocorrência do pico e no início da descida do hidrograma, pode ser relacionado com limitações no esquema de traslado de ondas, Muskingum-Cunge linear (CUNGE, 1969), utilizado neste experimento, que não considera efeitos dinâmicos. Ainda, também deve ser considerada a limitação nas informações meteorológicas disponíveis que resultam numa estimativa imperfeita da magnitude e da distribuição espacial da chuva e de sua magnitude.

Entretanto, a previsão de alturas do rio como prevenção e alerta a desastres não requer da estimativa exata do valor do pico, mas a probabilidade de superação dos limiares de alerta e emergência usados para desencadear ações da Defesa Civil e do Governo. Em uma bacia de grandes proporções territoriais como a do Rio Madeira, a previsão climática sazonal pode auxiliar na estimativa da possibilidade de ocorrência de níveis acima destes limiares com meses de antecedência. Apesar das incertezas inerentes à previsão deste tipo, ela tem um alto potencial de uso em ações de preparação da Defesa Civil e da população. No caso estudado aqui, as previsões sazonais indicaram uma alta probabilidade de ocorrência de níveis d'água por cima dos valores de alerta e emergência com pelo menos um mês de antecedência.

A aplicação das previsões de tempo no

modelo hidrológico tem o potencial de refinar a previsão do nível do rio esperado num determinado dia, uma vez que são altamente determinadas pelas condições iniciais observadas num curto prazo de antecedência. O erro absoluto na previsão de tempo apresenta valores altos quando a antecedência é muito alto ou muito baixa. Este comportamento está relacionado também com o comportamento das simulações, que influenciam a condição inicial das previsões

#### **5. CONCLUSÃO**

O trabalho apresenta uma aplicação pontual, para um caso de estudo, da combinação de previsões climáticas sazonais e de tempo na implementação de um alerta de desastre hidrológico associado à cheia do rio. No caso estudado, a aplicação das previsões sazonais permitem conhecer com suficiente antecedência a possibilidade de ocorrência de um evento acima dos limiares de alerta e emergência. Esta antecipação favorece o preparo dos sistemas de alertas uma vez que permite focalizar a atenção em pontos que apresentem potencial de ocorrência de eventos extremos.

Adicionalmente, a previsão hidrológica utilizando previsão de tempo, que conta com um horizonte de antecedência menor, favorece a determinação de ações específicas para determinadas áreas, uma vez que podem oferecer uma previsão mais apurada das alturas do rio nos próximos dias.

Não obstante, e principalmente no caso das previsões de curto prazo, existe uma grande influência da performance do modelo em simular as condições iniciais da previsão. Além das incertezas inerentes ao mesmo modelo, esta performance é fortemente dependente das observações disponíveis, principalmente de precipitações. No caso dos dados provenientes das redes de observação insitu, o problema está frequentemente associado com a cobertura da rede, a qual deve representar adequadamente a distribuição espacial da chuva, e com o acesso à informação em tempo para sua assimilação nos modelos.

#### **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi realizado com suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processos 400071/2014-2, e 312224/2012-5 e do Projeto Amazalert da UE, Processo 282664



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56.** Roma, FAO, 1998. 326 p.
- BEVEN, K.J.; KIRKBY, M.J. A physically based variable contributing area model of basin hydrology, **Hydrological Sciences Bulletin** v. 24, p. 43-69, 1979.
- BORMA, L. S.; TOMASELLA, J.; ROBALLO, S. T.; CUARTAS, L. A.; RODRIGUEZ, D. A.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Impactos Dos Eventos Extremos de Seca e Cheia Sobre os Recursos Hídricos Amazônicos, Desastres Naturais e Ações da Defesa Civil. In: L. S. Borma, C. A. Nobre, Eds., **Secas na Amazônia.** São Paulo, Oficina de Textos, 2013. 367 p.
- CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L. Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South American. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 12. n. 4, p. 537-555, 2005.
- CHOU, S.C.; MARENGO, J.A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. ALVES, L.M.; KAY, G. BETTS, R. CHAGAS, D.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J., TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics.** Vol. 38 n. 3-4, p. 635-653. 2012.
- CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454. 2014a
- CHOU, S.C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527. 2014b.
- COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; ETUCCI, C.E.M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895. 2007a
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; CHOU, S. C.; GUILHON, L. G.; CATALDI, M.; ALLASIA, D. G. Medium-range reservoir inflow predictions based on quantitative precipitation forecasts, **Journal of Hydrology**, v. 344, n. 1-2, p. 112-122, 2007b.
- CUNGE, J. A. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). **Journal of Hydraulic Research**, v. 7, n. 2, p. 205-230, 1969.
- EK M. B.; MITCHELL K. E.; LIN Y.; ROGERS E.; GRUNMANN P.; KOREN V.; GAYNO G.; TARPLEY J. D. Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. **Journal of Geophysical Research – Atmosphere**, v. 108, n. D22, p. 8851-8863, 2003.
- ESPINOZA, J.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.; JUNQUAS, C.; VAUCHEL, P.; LAVADO, W.; DRAPEAU, G.; EPOMBOSA, R. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (western Amazon Basin): understanding the exceptional 2010 drought. **Geophysical Resources Letters**, v. 38, n. 13, L13406, 2011.
- ESPINOZA, J.; GUYOT, J.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; DE OLIVEIRA, E.; ORDONEZ, J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). **Journal of Hydrology**, v. 375, p. 297-311, 2009a.
- ESPINOZA, J.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; LAVADO, W.; DE OLIVEIRA, E.; POMBOSA, R.; VAUCHEL, P. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador) **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1574-1594, 2009b
- FALCK, A. S.; MAGGIONE, V.; TOMASELLA, J.; VILA, D. A.; DINIZ, F. L. R. Propagation



- of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins–Araguaia basin in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 943-957, 2015.
- FEDDES, R. A.; LENSELINK, K. J.; RITZEMA, H. P. Evapotranspiration. Em: Ritzema, H.P. ed. **Drainage principles and applications**. Wageningen, ILRI, pg. 145-173. 1994
- GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **Journal of Hydrology**, v. 170, p. 79-86, 1995.
- JANJIC Z. I. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 927-945, 1994.
- JARVIS, N.J. A simple empirical model of root water uptake. **Journal of Hydrology**, v. 107, p. 57-72, 1994.
- MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts: **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2015.
- MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D.A.; WAGNER, P.P.; SOARES, R.; ALVES, L. M. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 2, p. 87-96, 2013.
- MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W.R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.
- MARENGO, J.; TOMASELLA, J.; ALVES, L.; SOARES, W.; RODRIGUEZ, D.A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Resources Letters**, v. 38, n. 12, L12703, 2011.
- MELLOR, G.L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 20, n. 851, p. 851-875, 1982.
- MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J.F.; LAZIC, L.; LYRA, A.A.; MORELLI, S.; RISTIC, I.; VELJOVIC, K. An upgraded version of the Eta model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 116, n. 3, p. 63-79, 2012.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD J.G.; VAN LIEW M.W.; BINGNER R.L.; HARMEL R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASAB**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.
- MUSY, A.; HINGRAY, B.; PICOUET, C.; eds. **Hydrology: A Science for Engineers**. Boca Raton, CRC Press, 2014. 592 p.
- OVANDO, A.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; MARTINEZ, J.M.; SIQUEIRA JUNIOR, J. L.; PINTO L. N.; PASSY, P.; VAUCHEL, P.; NORIEGA, L.; VON RANDOW, C. Extreme flood events in the Bolivian Amazon wetlands. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 5, p. 293-308, 2016.
- RODRIGUEZ, D. A.; TOMASELLA, J. On the ability of large-scale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 10, p. 1831-1846, 2016.
- RODRIGUEZ, D. A. **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de floresta amazônica**. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. 246 p.
- SIQUEIRA JÚNIOR, J.L.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D.A. Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin. **Climate Change**, v. 129, pp.117-129, 2015.
- TOMASELLA, J.; BORMA, L. S.; MARENGO, J. A. ; RODRIGUEZ, D. A.; CUARTAS, L.

- A.; NOBRE, C.A.; PRADO, M.C.R. . The droughts of 1996-97 and 2004-05 in Amazonia: Hydrological response in the river main-stem. **Hydrological Processes**, v. 25, n. 8, pp. 1228-1242, 2010.
- ZHAO, R.J.; LIU, X.R. The Xinanjiang Model. In: SINGH, V.P. (Ed.) **Computer Models of Watershed Hydrology**. Highlands Ranch, Water Resources Publication, 1995. p. 215–232.