

PREVISÃO DE VAZÃO DE EVENTOS EXTREMOS UTILIZANDO O MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUÍDO MHD-INPE E PREVISÕES METEOROLÓGICAS DO MODELO ETA-INPE PARA UMA ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL – ESTUDO DE CASO: SÃO LUÍS DO PARAITINGA (SP)

Flow Forecast of Extreme Events Using the Distributed Hydrological Model MHD-INPE and Meteorological Forecasts from the Eta-INPE Model with High Spatial Resolution – Case Study: São Luís do Paraitinga (SP)

**Anne Caroline Negrão¹, Daniel Andres Rodriguez², Sin Chañ Chou¹,
Gustavo Sueiro Medeiros¹, José Lazaro Siqueira Junior¹ &
Caio Pages Camargo¹**

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC

Rod. Dutra km 39 – Brasil, CEP: 12630-000

{annecnegrao, joselazarosiqueira}@gmail.com, {chou, gustavo.sueiro}@cptec.inpe.br, caiopages@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE

Rua Moniz Aragão Nº 360, Bloco 1, Ilha do Fundão – Brasil

daniel.andres@coc.ufrj.br

Recebido em 30 de Outubro, 2015/ Aceito em 21 de Janeiro, 2017

Received on October 30, 2015/ Accepted on January 21, 2017

RESUMO

Visando a previsão hidrológica de eventos extremos, serão apresentados neste trabalho resultados obtidos com a aplicação do modelo hidrológico distribuído *MHD-INPE* para eventos extremos ocorridos em São Luís do Paraitinga, SP. As previsões meteorológicas foram obtidas através do modelo atmosférico *Eta-INPE*, considerando altas resoluções espaciais (1 e 5 km). Os resultados indicam que a maior resolução das previsões meteorológicas resultam em precipitações mais intensas. Consequentemente, o modelo hidrológico tende a prever maiores níveis para o rio. Esse comportamento aumenta a assertividade de eventos acima do limiar de alerta, sendo assim, adequado para a previsão de eventos extremos, visto que tais eventos normalmente são consequentes de chuvas intensas e localizadas.

Palavras-chave: Eventos Extremos, Inundação, Modelagem Hidrológica, Previsão.

ABSTRACT

Aiming at hydrological forecasting of extreme events, this paper will present results of the application of the distributed hydrologic model *MHD-INPE* for extreme events that occurred in São Luís do Paraitinga, SP. Meteorological forecasts were obtained from the atmospheric *Eta-INPE* model, considering high spatial resolutions (1 and 5 km). The results indicate that the higher resolution of meteorological forecasts result in more intense precipitation. Consequently, the

hydrological model tends to predict higher levels of the river. This behavior increases the assertiveness of events above the alert threshold, therefore, the system is suitable for predicting extreme events, as these events usually results from intense and localized rains.

Keywords: Extreme Events, Flooding, Hydrologic Modeling, Forecast.

1. INTRODUÇÃO

A cidade de São Luis do Paraitinga, uma das cidades encaixadas na serra do Vale do Paraíba do Sul, SP, tem registrado graves enchentes, consequentes de eventos extremos de precipitação, que devastaram a cidade. Na virada do ano de 2009 para 2010 ocorreu o maior evento de inundação já registrado. Segundo a Defesa Civil, o acumulado de precipitação do mês de dezembro de 2009 atingiu cerca de 600 mm, aproximadamente 50% da média anual para o município, e o nível do rio Paraitinga atingiu 11 metros acima do normal. A enchente invadiu diversos imóveis, destruindo parte do patrimônio histórico da cidade. Com quase metade da população atingida, sem luz e água e alguns desabrigados, o município decretou estado de calamidade pública.

Além do desastre da virada de 2009 para 2010, também foram registrados episódios de inundação nos anos de 1996, 2000, 2006 e 2013 (BROLLO *et al.*, 2010), ou seja, problemas com inundação devido a eventos extremos são frequentes no município.

Para lidar com situações de desastres naturais, como as ocorridas em São Luís do Paraitinga, modelos de previsão hidrológica tornam-se ferramentas potenciais que podem ser utilizadas para antecipar eventos de inundação, auxiliando, assim, a emissão de alertas, a análise de risco e a tomada de decisão.

Em casos de previsão em bacias urbanas de rápida resposta hidrológica, a antecedência da previsão é fundamental, visto a necessidade de tempo hábil para a aplicação das medidas cabíveis para evitar/reduzir desastres. Consequentemente, a utilização de previsão de precipitação torna-se indispensável. Entretanto, a maior fonte de incerteza encontra-se no quantitativo dessas previsões.

Neste trabalho será apresentado o estudo de caso de previsão de vazão utilizando um modelo hidrológico distribuído alimentado por previsão quantitativa de precipitação para

os eventos extremos ocorrido em São Luís do Paraitinga em dezembro de 2009 e janeiro de 2010.

2. ÁREAS DE ESTUDOS DE CASO

A Bacia do Rio Paraíba do Sul, já bastante urbanizada, possui grande interesse econômico por abranger importantes regiões dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, tendo o uso múltiplo de suas águas bastante explorado.

O rio Paraitinga é um dos formadores do rio Paraíba do Sul. Ele nasce na Serra da Bocaina, a cerca de 1800 m de altitude e percorre 80 km, com desnível de 1000 m, até o encontro com o rio Paraíba, drenando uma área de 5.271 km². Essa região serrana de São Paulo (Figura 1) é bastante acidentada com vales encaixados e alta densidade de drenagem. O regime de precipitação é bastante intenso durante o verão tendo altos riscos de inundação e escorregamentos. O total pluviométrico anual médio da região é de 1.193 mm (BROLLO *et al.*, 2010).

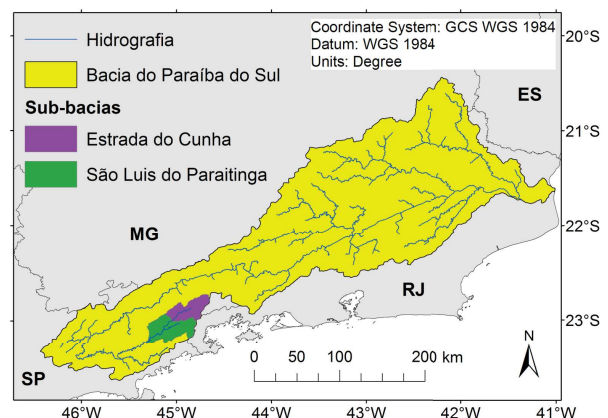


Fig. 1 – Bacia do Rio Paraíba do Sul e as sub-bacias dos estudos de casos.

3. METODOLOGIA

A seguir será apresentada a base de dados utilizada para o desenvolvimento do trabalho e serão descritos os programas e software

utilizados e a metodologia de aplicação para o caso de estudo.

3.1 Base de dados

Para compor as informações físicas e bióticas da bacia, foram utilizados mapas de vegetação, proveniente do projeto PROVEG-INPE (SESTINI *et al.*, 2002), e solo, proveniente do SOTERLAC (DIJKSHOORN *et al.*, 2005). Os dados topográficos foram obtidos a partir do Modelo Numérico de Elevação SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) com uma resolução de 90 m, disponibilizado pela NASA (FARR *et al.*, 2007), que foram processados pelo software TerraHidro (ABREU *et al.*, 2012) para obter as direções de fluxo e a rede de drenagem.

Os dados diários de vazão de dois postos fluviométricos, disponibilizados pelo site Hidroweb da ANA (Agência Nacional de Águas), foram utilizados no estudo de caso. A Tabela 1 apresenta informações sobre as estações.

Tabela 1: Informações sobre as estações fluviométricas

Nome	Lat	Long	Área drenada (km ²)
Estrada do Cunha	-22,99	-45,04	796
São Luís do Paraitinga	-23,22	-45,32	1950

Para a calibração do modelo hidrológico, os dados meteorológicos - que consistem em precipitação, radiação, velocidade do vento, temperatura do ar, temperatura de ponto de orvalho e pressão atmosférica - foram agregados de diversas fontes, tais quais a ANA, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), consistidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e interpolados considerando a resolução de grade do modelo hidrológico (1 km).

Os dados de previsão meteorológica para as mesmas variáveis foram derivados do modelo meteorológico regional Eta-INPE, utilizado

pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE (MESINGER *et al.*, 2012). Previsões para alguns casos de eventos extremos foram geradas para duas resoluções: 0,01 graus (1 km) e 0,05 graus (5 km). A resolução de 1 km possui horizonte de previsão de 3 dias e a resolução de 5 km de 5 dias. Para corresponder com a resolução do modelo hidrológico, as previsões com 5 km de resolução foram interpoladas para uma grade de 1 km. O objetivo é analisar o efeito de diferentes resoluções do modelo meteorológico sob o modelo hidrológico e se existe algum ganho perceptível na previsão de eventos extremos com a utilização de uma resolução meteorológica mais refinada.

3.2 Modelagem Hidrológica

O Modelo Hidrológico Distribuído do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MHD-INPE) (RODRIGUEZ, 2011) foi utilizado para realizar as simulações. O MHD-INPE foi baseado no Modelo Hidrológico de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) (COLLISCHONN *et al.*, 2007) e consiste em um modelo hidrológico conceitual distribuído por grades regulares, que simula o balanço hídrico de cada grade e propaga o escoamento através de uma rede de drenagem. O MHD-INPE tem sido aplicado com sucesso em estudos de mudanças climáticas e mudanças de uso e cobertura do solo (SIQUEIRA JÚNIOR *et al.*, 2015; MOHOR *et al.*, 2015; RODRIGUEZ & TOMASELLA, 2015).

A bacia foi representada por células com resolução de 0,01x0,01 graus, o equivalente a aproximadamente 1x1 km. O uso do solo e vegetação dentro de cada célula foram combinados e classificados em 14 grupos de Unidades de Resposta Hidrológica. O passo de tempo é diário.

O modelo foi calibrado através do processo de otimização Shuffled Complex Evolution (SCE-UA), proposta por Duan *et al.* (1992). Foram utilizados dados observados de precipitação e vazão no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013.

Para a previsão de vazões no modelo MHD-INPE é aplicado um esquema de atualização das variáveis de armazenamento, vazão e volume, feito através de um fator de correção que relaciona a vazão observada e a vazão simulada (COLLISCHONN *et al.*, 2007). A antecedência de previsão utilizada foi de até três dias para a resolução do Eta de 1 km e cinco dias para a resolução do Eta de 5 km interpolada para 1 km.

Os resultados do modelo hidrológico são obtidos em termos de vazão (m³/s). Entretanto, a variável cota (cm) apresenta-se mais interessante no estudo de inundações. Portanto, os dados de vazão foram transformados em dados de cota conforme a curva-chave da estação.

Para a verificação dos resultados utilizou-se o Percentual do Erro Médio Absoluto (PEMA) conforme a seguinte equação:

$$PEMA = 100 \frac{|(y_p - y_o)|}{y_o} \quad (1)$$

em que y_p é a cota prevista, y_o é a cota. Para uma análise geral da qualidade das previsões, também foi feita uma média dos PEMA entre todas as previsões para cada antecedência.

Considerando o interesse em alerta de eventos extremos, adotou-se um limiar de alerta para auxiliar na análise da importância do evento para o rio. Esse limiar considera a média dos máximos anuais dos dados históricos de cota registrados pela estação mais um desvio padrão, como sugerido pela CPRM e utilizado por Marengo *et al.* (2013).

4. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os coeficientes de Eficiência de Nash-Sutcliffe e o seu logaritmo (NS e logNS) obtidos para a simulação do período após a calibração. Os resultados dos coeficientes de eficiência resultam razoáveis para o estudo (MORIASI *et al.* 2007). A principal dificuldade para a correta representação das cheias nestas bacias pequenas e localizadas em região serrana, está relacionada com a escassa cobertura da rede de observações que muitas vezes não captura adequadamente a distribuição espacial da precipitação.

Tabela 2: Coeficientes de eficiência obtidos na calibração das sub-bacias

Nome	NS	logNS
Estrada do Cunha	0,65	0,69
São Luís do Paraitinga	0,77	0,83

Tinha-se o interesse em analisar o evento extremo ocorrido no dia 01/01/2010, por se tratar do evento mais intenso presenciado na região. Entretanto, tal evento não foi completamente registrado em ambas as estações, pois os equipamentos foram levados com a enchente. Logo, não se tem disponíveis dados observados de vazão ou cota. Por isso, analisou-se também o evento extremo que ocorreu alguns dias antes (entre o dia 29/11/2009 e 17/12/2009) visando a verificar a eficácia da previsão para a região.

As Figuras 2 e 3 apresentam as previsões realizadas para as estações Estrada do Cunha e São Luís do Paraitinga separadas por antecedência. Nessa análise, utilizou-se uma composição das previsões para gerar os limnigramas de previsão para cada antecedência, que podem ser comparados com o limnigrama observado.

De modo geral, o comportamento das previsões com Eta de resoluções de 1 km e 5 km apresentam-se similares, sendo assim coerentes entre si. A resolução Eta 1 km apresenta previsões de precipitação mais intensas e com maior antecedência, tendo como consequência previsões de cotas maiores e menor atraso nas subidas dos limnigramas, para todas as antecedências de previsão.

Os atrasos das previsões são mais evidentes no evento ocorrido entre 29/11/2009 e 17/12/2009 em ambas as estações, principalmente para os picos de cota. Esses atrasos aumentam com o aumento da antecedência de previsão. Apesar disso, o modelo foi capaz de prever a magnitude do evento alcançando valores próximos ao limiar, assim como as cotas observadas no dia 08/12/2009 em Estrada do Cunha e no dia 11/12/2009 em São Luís do Paraitinga.

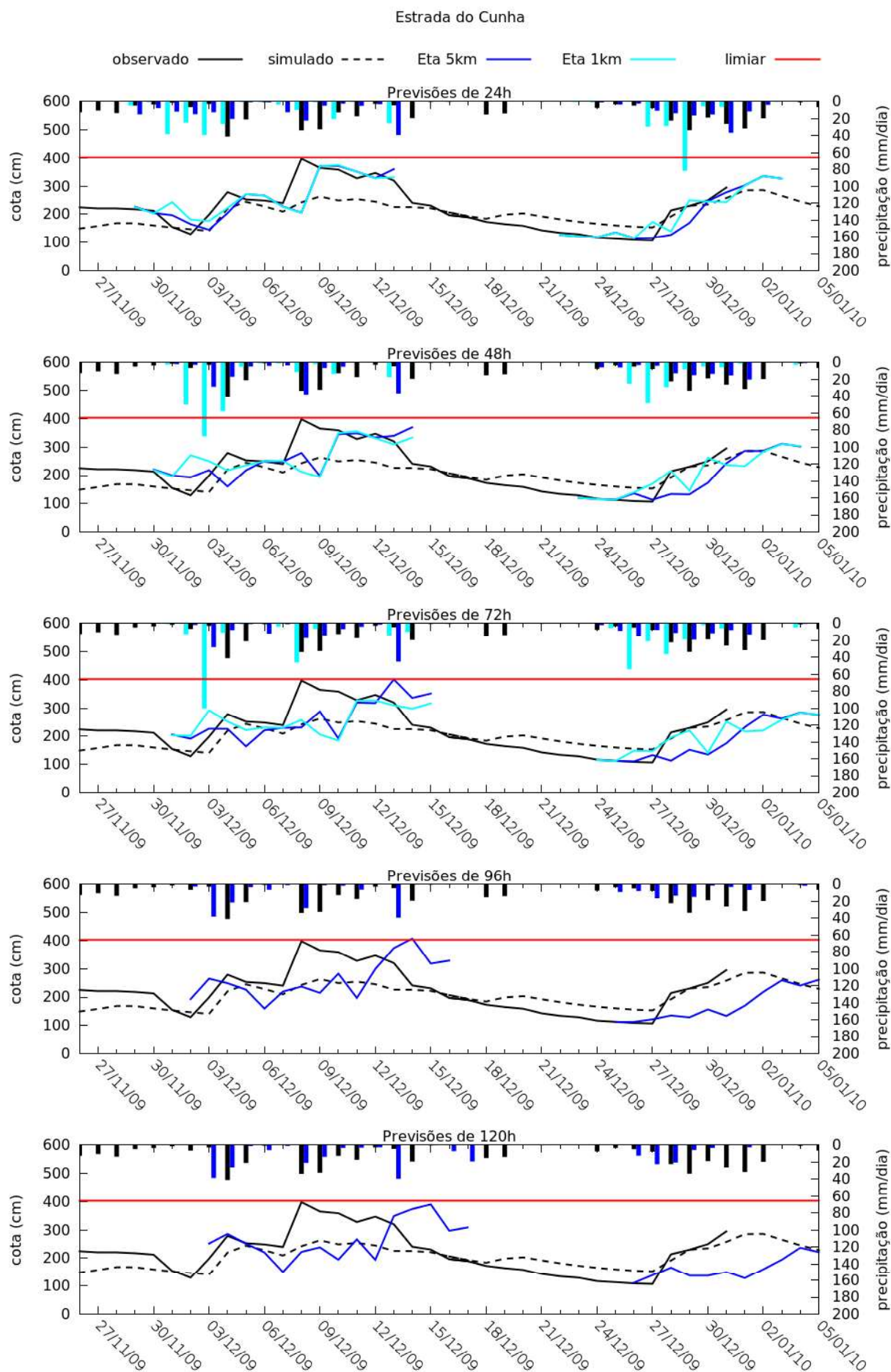


Fig. 2 – Previsão realizadas para a estação Estrada do Cunha considerando os eventos extremos ocorridos em dezembro de 2009 e janeiro de 2010 e separados por antecedência de previsão.

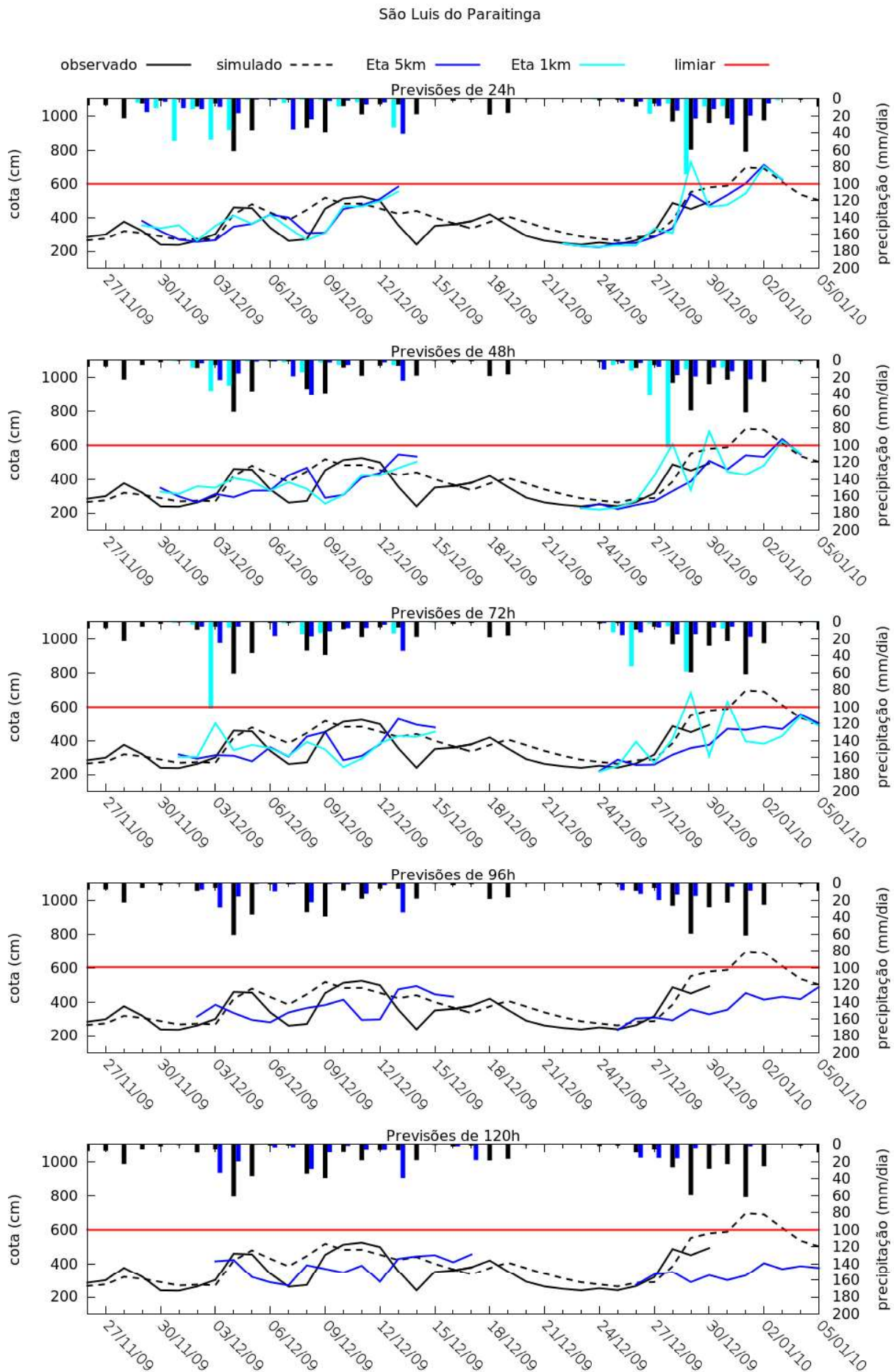


Fig. 3 – Previsões realizadas para a estação São Luís do Paraitinga considerando os eventos extremos ocorridos em dezembro 2009 e janeiro 2010 e separados por antecedência de previsão.

As previsões de 24h se apresentaram mais assertivas em relação aos demais horizontes, como também pode ser confirmado através do PEMA (Tabela 3). Os erros de previsão tendem a aumentar com o aumento da antecedência.

Apesar do evento do dia 01/01/2010 não ter sido registrado pela rede fluviométrica, sua severidade atingiu cotas superiores ao limiar nunca antes observadas (BROLLO *et al.*, 2010). Entretanto, as previsões desse evento para Estrada do Cunha não se aproximam do limiar. Mesmo a precipitação prevista com 24h de antecedência para o dia 29/12/2009 ser maior que o dobro do observado, a cota prevista resultante não é significativa. Por outro lado, a precipitação registrada pelos pluviômetros também não corresponde ao grande nível do rio observado no dia 01/01/2010. Por isso, a cota simulada, que utiliza como entrada a precipitação observada, também não se aproxima do limiar. Esse comportamento é um indício de que a chuva não foi adequadamente registrada.

Já para São Luís do Paraitinga, a previsão que utiliza o Eta de 1 km atinge valores acima do limiar para o evento extremo do dia 01/01/2010. As previsões de 72h de antecedência já apresentam cotas acima do limiar para esse evento. A resolução de 5 km do Eta também representa a subida do limnigrama, porém com menor intensidade e maior atraso.

Uma análise das previsões para o pico de cota ocorrido no dia 08/12/2009, em Estrada do Cunha, e no dia 11/12/2009, em São Luís do Paraitinga, são apresentados nas Figuras 4, 5, 6 e 7.

Nas previsões de Estrada do Cunha, a magnitude do pico de cota registrado no dia 08/12/2009, apesar de se aproximar do limiar, ou seja, ser um evento atípico e bastante importante, ele não é adequadamente previsto pelo modelo. O grande percentual de erro está relacionado com o atraso do pico, como foi observado na Figura 2. Além disso, apesar da simulação inicialmente acompanhar a subida do limnigrama observado, a subestimativa das previsões de precipitação resultou nas grandes diferenças em relação ao

pico observado. O que indica que a rede de monitoramento disponível não foi capaz de capturar a precipitação ocorrida para o evento.

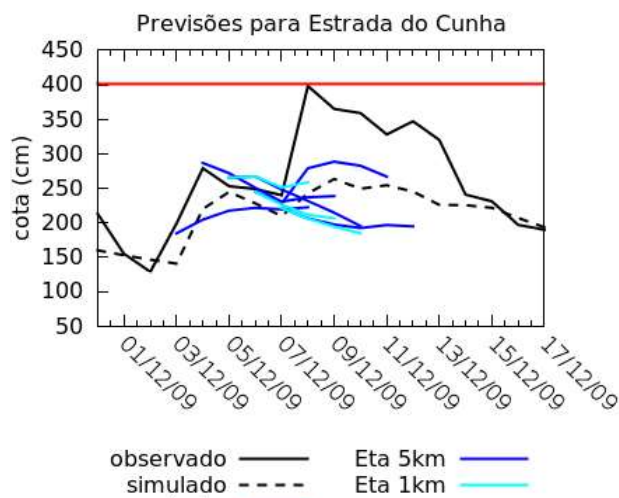


Fig. 4 – previsões realizadas para o pico de cota ocorrido no dia 08/12/2009 em Estrada do Cunha.

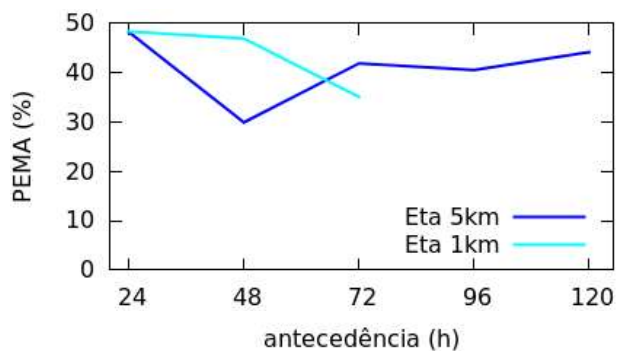


Fig. 5 – Percentual do Erro Médio Absoluto para a previsão do dia 08/12/2009 realizada para Estrada do Cunha.

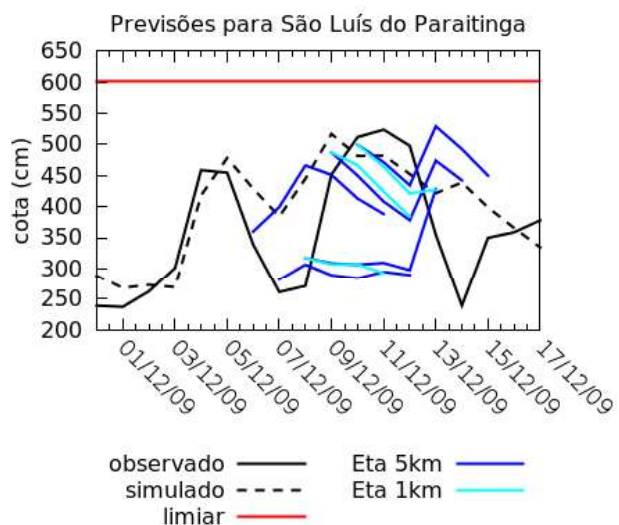


Fig. 6 – previsões realizadas para o pico de cota ocorrido em São Luís do Paraitinga no dia 11/12/2009.

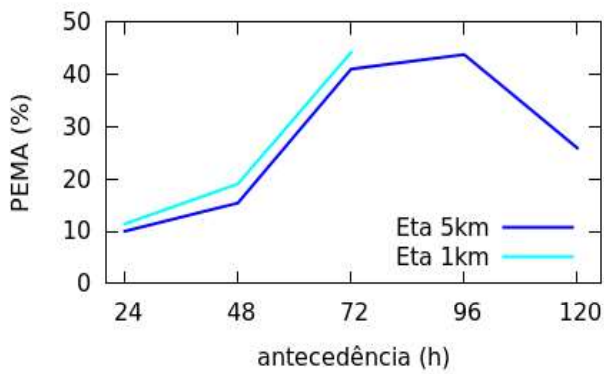


Fig. 7 – Percentual do Erro Médio Absoluto para a previsão do dia 11/12/2009 realizada para São Luís do Paraitinga.

As previsões para São Luís do Paraitinga capturam melhor a magnitude do evento, apesar dos atrasos dos picos. Os percentuais de erro são um pouco menores que os obtidos para Estrada do Cunha sendo razoáveis para as antecedências de 24h e 48h, menores que 20%. No caso de São Luís do Paraitinga o maior pico de cota simulada é proporcional ao observado.

Apesar de não se ter o registro da cota, avaliou-se como foram previstas as variações do nível do rio nos dias que antecedem o evento extremo do dia 01/01/2010 em São Luís do Paraitinga (Figura 8).

Tabela 3: Percentual do Erro Médio Absoluto (PEMA) por antecedência de previsão

Estação	Evento	Simulado	Resolução Eta	Antecedência da previsão				
				24h	48h	72h	96h	120h
Estrada do Cunha	29/11/2009 - 17/12/2009	22,0	1 km	15,2	23,3	24,3	-	-
			5 km	17,4	22,1	28,2	36,3	34,8
	22/12/2009 - 31/12/2009	22,8	1 km	16,1	17,5	18,3	-	-
			5 km	12,0	18,6	24,4	27,3	31,6
São Luís do Paraitinga	29/11/2009 - 17/12/2009	17,3	1 km	20,8	32,0	32,7	-	-
			5 km	21,9	37,0	33,1	31,7	22,8
	22/12/2009 - 31/12/2009	15,9	1 km	15,4	18,0	26,7	-	-
			5 km	10,1	10,5	19,0	18,9	21,1

A previsão de resolução Eta de 1 km realizada no dia 25/12/2009 adianta a subida da cota e já no dia 26/12/2009 o modelo prevê cotas que ultrapassam o limiar, indicando a severidade do evento com grande antecedência, o que pode colaborar com as ações da defesa civil. Porém, a previsão realizada no dia seguinte (27/12/2009) contradiz à anterior com previsões de baixa precipitação, o que reduz a confiabilidade da previsão. Entretanto, a previsão realizada no dia

28/12/2009 reafirma as cotas acima do limiar a partir do dia 29/12/2009. As previsões dos dias seguintes apresentaram uma tendência de queda da cota.

Já as previsões de resolução Eta de 5 km apresentaram precipitações menores que as observadas, subestimando as cotas. Entretanto, a previsão realizada no dia 30/12/2009 foi a que se apresentou mais assertiva em relação à data de ocorrência do evento extremo.

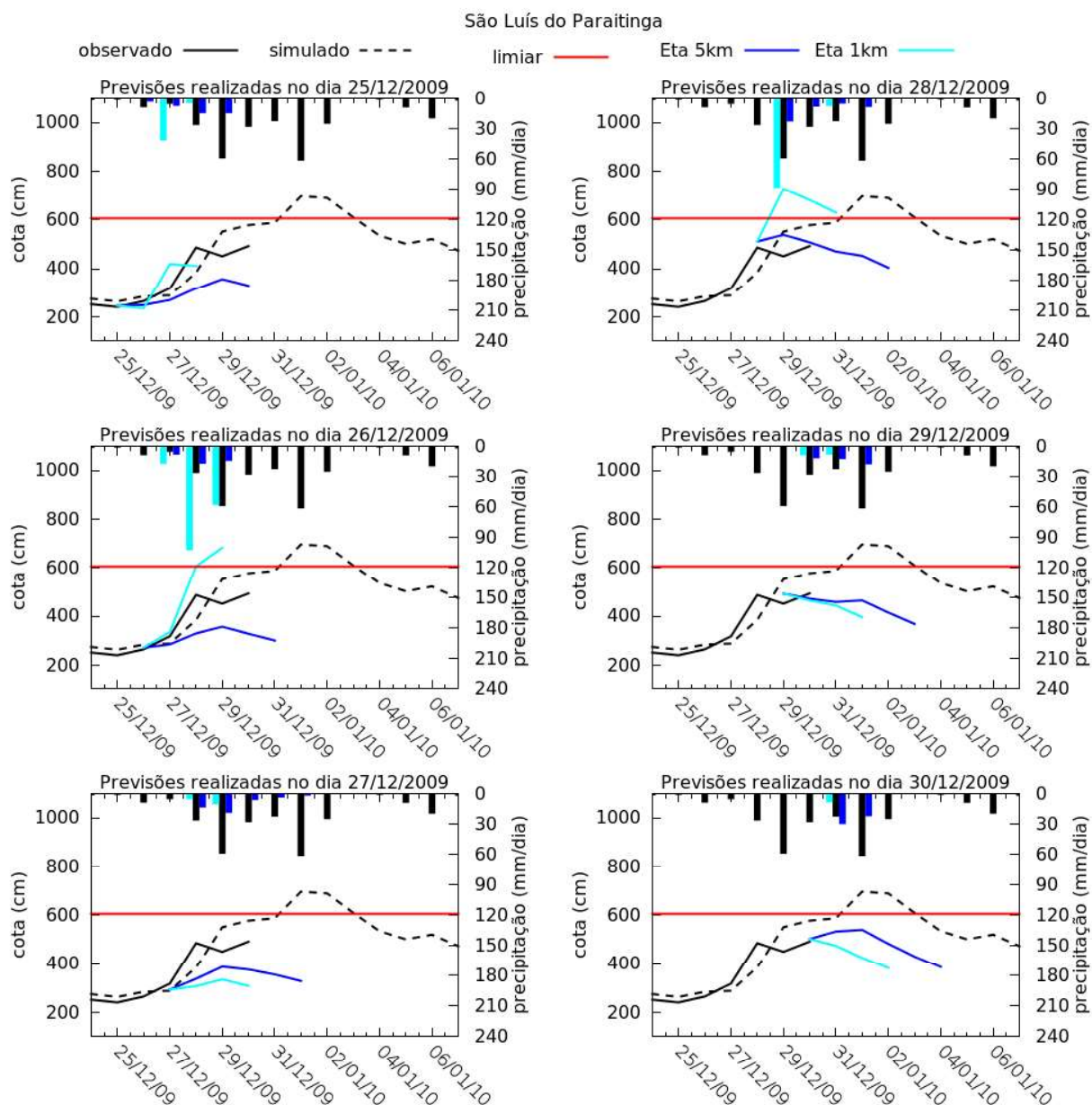


Fig. 8– Previsões realizadas para São Luís do Paraitinga utilizando as resoluções de 1 km e 5 km do Eta.

5. CONCLUSÕES

Previsões hidrológicas foram realizadas para os eventos extremos ocorridos em São Luís do Paraitinga em dezembro de 2009 e janeiro de 2010. Para isso, utilizou-se o MHD-INPE combinado com previsões meteorológica do Eta-INPE de altas resoluções espaciais (1 e 5 km).

A resolução Eta 1 km apresenta previsões de precipitação mais intensas e com maior antecedência, tendo como consequência previsões de cotas maiores e menor atraso nas subidas dos limnigramas, para todas as antecedências de previsão.

A precipitação registrada não é coerente a magnitude dos níveis ocorridos durante os eventos extremos. A subestimativa da precipitação levou a grandes erros entre as cotas de pico observadas e simuladas, tendo também consequências nas previsões. O fato das bacias analisadas serem pequenas e localizadas em região serrana dificultam a correta distribuição da precipitação.

O modelo foi capaz de identificar o evento extremo ocorrido em São Luís do Paraitinga no dia 01/01/2010, porém apresentou problemas na definição das datas de ocorrência, o que

demonstra a necessidade de aprimoramento. Além disso, para confirmar a eficiência do modelo na indicação de eventos extremos, torna-se necessário analisar o seu comportamento na previsão de outros eventos extremos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo número 400071/2014-2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.S.; ROSIM, S.; RENNÓ, C.D.; OLIVEIRA, J.R.F.; JARDIM, A.C.; ORTIZ, J.O.; DUTRA, L.V. TERRAHIDRO - A distributed hydrological system to delimit large basins. In: **IGARSS 2012 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, p. 546-549, 2012.

BROLLO, M.J.; TOMINGA, L.K.; ROSSINI-PENTEADO, D.; AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R.; GUEDES, A.C.M. Desastres Naturais e Riscos em São Luiz do Paraitinga (SP). In: **ABGE, 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**, Maringá-PR, 2010. Anais, 19 páginas.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; 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.

DIJKSHOORN J.A.; HUTING J.R.M.; TEMPEL P. Update of the 1:5 million Soil and Terrain Database for Latin America and the Caribbean (SOTERLAC; version 2.0). Report 2005/01, **ISRIC – World Soil Information**, Wageningen, 2005. http://www.isric.org/sites/default/files/isric_report_2005_01.pdf

DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V.K. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. **Water Resources Research**, v.28, n.4, p.1015-1031, 1992.

FARR, T.G.; ROSEN, P.A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.;

SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D.; 2007. The shuttle radar topography mission. **Reviews of Geophysics**, v.45, 2004. DOI: 1029/2005RG000183.

MARENGO, J.A.; BORMAL S.; RODRIGUEZ, D.A.; PINHO P.; SOARES W.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.

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. DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z.

MOHOR, G.S.; RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; SIQUEIRA JÚNIOR, J.L. Exploratory analyses for the assessment of climate change impacts on the energy production in an Amazon run-of-river hydropower plant. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.4, p.41-59, 2015.

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 ASABE**, v.50, n.3, p.885-900, 2007.

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**, 2015. DOI: 10.1080/02626667.2015.1051979.

RODRIGUEZ, D.A. **Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico em bacia de floresta amazônica**. 208 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

SESTINI, M.F.; ALVALÁ, R. C. dos S.; MELLO, E. M. K.; VALERIANO, D. de M.; CHAN, C. S.; NOBRE, C. A.; PAIVA, J. A. de C.; REIMER,

É. da S. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos.** Projeto PROVEG-INPE. 75 páginas. São José dos Campos, SP, 2002.

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. Supplementary Material. **Climatic Change** 129:117-129, 2015.