

Análise das Previsões de Precipitação Obtidas com a Utilização do Modelo Eta como Insumo para Modelos de Previsão Semanal de Vazão Natural

Marcio Cataldi, Christiane Osório Machado, Luiz Guilherme Ferreira Guilhon

*Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS
cataldi@ons.org.br, cosorio@ons.org.br e guilhon@ons.org.br*

Sin Chan Chou, Jorge L. Gomes, Josiane F. Bustamante

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CPTEC
chou@cptec.inpe.br, gomes@cptec.inpe.br, josiane@cptec.inpe.br*

Recebido: 01/11/06 - revisado: 16/04/07 - aceito: 20/07/07

RESUMO

Nesse estudo é apresentada uma análise da previsão de precipitação do modelo numérico Eta para dez dias à frente aplicada a três bacias: do rio Iguaçu, rio Paraná e rio Paranaíba. É apresentada uma breve descrição física do modelo, a história de sua operação e uso no CPTEC/INPE desde o ano 1996. Estas previsões foram utilizadas em diversos modelos de previsão de vazões naturais no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. Os resultados indicam que a previsão de precipitação do modelo Eta não apresenta erros sistemáticos que pudessem ser tratados através de técnicas estatísticas tradicionais. Além disso, essas previsões, em geral, subestimam os maiores valores de precipitação observada e possuem um melhor desempenho quando agrupadas em três ou mais dias. Mesmo considerando esses aspectos, quando esta informação é inserida como dado de entrada, os modelos de previsão de vazões podem apresentar melhor desempenho.

Palavras-chave: *Previsão de precipitação, Modelo Eta, Previsão de Vazões.*

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as diferentes tecnologias de modelagem para reproduzir os fenômenos naturais evoluíram rapidamente, propiciando ao homem a oportunidade de ampliar seus conhecimentos sobre a natureza e compreender seus processos físicos e biológicos. Em relação a estes fatos destacam-se os avanços na modelagem numérica dos processos físicos inerentes à previsão de tempo e clima. Para a hidrologia existe um pleno potencial de utilização das previsões de precipitação, tanto no horizonte de alguns dias quanto de meses, na área de previsão de vazões e no aprimoramento do conhecimento sobre os diferentes fenômenos naturais que constituem o ciclo hidrológico.

Considerando a predominância significativa da hidroeletricidade em nosso parque gerador de energia elétrica, a qualidade da previsão da vazão natural* aos aproveitamentos hidroelétricos apresen-

ta-se como peça fundamental no planejamento e programação da operação do Sistema Interligado Nacional – SIN.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS tem a responsabilidade de elaborar a previsão e a geração de cenários de vazões naturais médias diárias, semanais e mensais para todos os locais de aproveitamentos hidroelétricos do SIN. Os modelos de previsão e geração de vazões, atualmente utilizados pelo ONS, em geral, são estocásticos e não consideram informações de precipitação.

No decorrer do ano de 2005 o ONS, no âmbito do seu plano de ação, contratou o desenvolvimento de diferentes tecnologias para a previsão de vazões diárias, para um horizonte de 12 dias à frente, incorporando, além das vazões naturais passadas, as informações da precipitação observada e prevista. Para esse projeto foram escolhidas três bacias piloto, a saber: bacia do rio Iguaçu, do rio Paraná (Trecho entre a UHE Rosana, a UHE Porto Primavera e a UHE Itaipu) e do rio Paranaíba (trecho entre a UHE Itumbiara e a UHE São Simão).

* Conceitua-se a vazão natural como a vazão que ocorre em uma seção de um rio no qual não existem ações antrópicas que alterem o seu regime, ou seja, aquela vazão que ocorreria em uma seção do rio caso não houvesse a operação de reservatórios a montante, nem a vazão evaporada pelos lagos

artificiais, nem mesmo retiradas de água consumidas com abastecimento e irrigação a montante, em resumo, a vazão provida pela própria natureza.

Para a bacia do rio Iguaçu foram estudados um modelo conceitual concentrado SMAP (pelo LACTEC), um modelo de redes neurais do tipo *Multilayer Perceptrons - MLP* (pela PUC-Rio) e um modelo *fuzzy recorrente* com uso de *data mining e cubo de On-Line Analytical Process - OLAP* (pela UFF/RJ).

Para a bacia do rio Paraná, a montante da UHE Itaipu foram estudados um modelo de regressão dinâmica (pela PUC-Rio), um modelo misto conceitual concentrado/estocástico multivariado SMAP-MEL (pela FCTH/USP) e um modelo conceitual distribuído MGB-IPH (pela Rhama Consultoria Ambiental Ltda.).

Para a bacia do rio Paranaíba, a montante da UHE São Simão foram estudados um modelo de regressão dinâmica (pela PUC-Rio) e um modelo conceitual distribuído MGB-IPH (pela Rhama Consultoria Ambiental Ltda.).

Para o desenvolvimento das metodologias de previsão de vazão com incorporação de precipitação, foi fornecido pelo ONS o histórico de previsões de precipitação geradas pelo modelo Eta do CPTEC/INPE, para o período de 1996 a 2001. O histórico dessas previsões dos anos de 2002 e 2003 foi utilizado para a validação desses modelos de vazão.

O objetivo desse trabalho é apresentar o desempenho das previsões de precipitação modeladas pelo Eta, nas bacias hidrográficas citadas anteriormente, durante o período de 1996 a 2001 e os avanços obtidos, que poderão servir de subsídio para o processamento de modelos de previsão de vazões para o horizonte de alguns dias à frente.

A seguir é apresentada uma breve descrição do modelo Eta, o resumo das avaliações das previsões de precipitação obtidas com esse modelo e as conclusões e considerações finais a respeito do tema proposto.

MODELO Eta

O Modelo Eta é proveniente do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). O modelo tem sido utilizado operacionalmente para produzir previsões de tempo sobre a América do Sul desde 1996 no INPE. É um modelo em ponto de grade. Na horizontal, as variáveis são distribuídas na grade E de Arakawa (Arakawa e Lamb, 1977), e a coordenada vertical é a coordenada η (Mesinger, 1984), definida por:

$$\eta = \left[\frac{(p - p_t)}{(p_s - p_t)} \right] * \left[\frac{(p_{ref}(Z_s) - p_t)}{(p_{ref}(0) - p_t)} \right]$$

onde p é a pressão atmosférica. Os índices s e t se referem à superfície e ao topo da atmosfera, respectivamente. O índice ref se refere ao valor da pressão de uma atmosfera de referência; Z_s é a altitude da superfície. A topografia é resolvida na forma de degraus discretos. A coordenada vertical se baseia em pressão, o que torna a superfície da coordenada aproximadamente horizontal. Esta característica reduz consideravelmente os problemas nos cálculos das derivadas horizontais próxima de região de declividade das montanhas, problema comum na coordenada sigma e, conseqüentemente, reduz os problemas relacionados com o termo importante da força do gradiente horizontal de pressão.

O topo do modelo está em 25 hPa. O esquema de integração é por particionamento explícito ('split-explicit'). Os termos de ajuste devido às ondas de gravidade são tratados pelo esquema 'forward-backward' modificado por Janjic (1979). O passo de tempo fundamental do modelo é aplicado aos termos de ajuste, que equivale à metade do passo de tempo dos termos de advecção. O esquema de diferenças finitas no espaço suprime a separação das ondas de gravidade das duas subgrades C (Mesinger, 1974; Janjic, 1979). A difusão horizontal é não-linear de 2ª ordem. A condição de contorno lateral é prescrita em uma fileira, sem necessidade de relaxação da lateral. As variáveis prognósticas são: temperatura, umidade, vento horizontal, pressão à superfície, energia cinética turbulenta, umidade e temperatura do solo e água líquida ou gelo das nuvens.

O modelo possui complexa representação dos processos físicos que são tratados através de esquemas de parametrizações. As misturas turbulentas na vertical são resolvidas pelo esquema de Mellor-Yamada (1982) no nível de fechamento 2.5, em que a energia cinética turbulenta é prevista. As trocas de energia à superfície se baseiam na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as funções de estabilidade de Paulson. O tratamento dos fluxos radiativos na atmosfera foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, sendo que radiação de onda curta se baseia no esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação de onda longa se baseia no esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). As taxas de aquecimento ou resfriamento devido aos processos radiativos são re-calculados a cada hora de integração. As distribuições de dióxido de carbono, ozônio e do albedo iniciais são provenientes de valo-

res climatológicos. O conteúdo de água no solo é previsto pelo esquema de Chen et al (1997). Este esquema é composto pelo acoplamento entre a formulação desenvolvida por Mahrt e Ek (1984) para a evapotranspiração de Penman, o modelo de múltiplas camadas de solo de Mahrt e Pan (1984) e o modelo para o dossel de Pan e Mahrt (1987). O esquema possui 2 camadas no solo e um mapa com 12 tipos de cobertura vegetal. A produção de chuva convectiva se baseia no esquema do tipo ajuste convectivo de Betts-Miller-Janjic (Betts e Miller, 1986; Janjic, 1994). Neste esquema o perfil termodinamicamente instável é ajustado em direção a um perfil de referência. A chuva e as nuvens estratiformes do modelo são representadas pelo esquema de microfísica de nuvens de Zhao (Zhao e Carr, 1997) que produz a água líquida ou gelo da nuvem estratiforme.

O domínio do modelo utilizado no CPTEC abrange a maior parte da América do Sul e inclui parte dos oceanos adjacentes. A Figura 1 mostra o domínio na projeção do modelo.

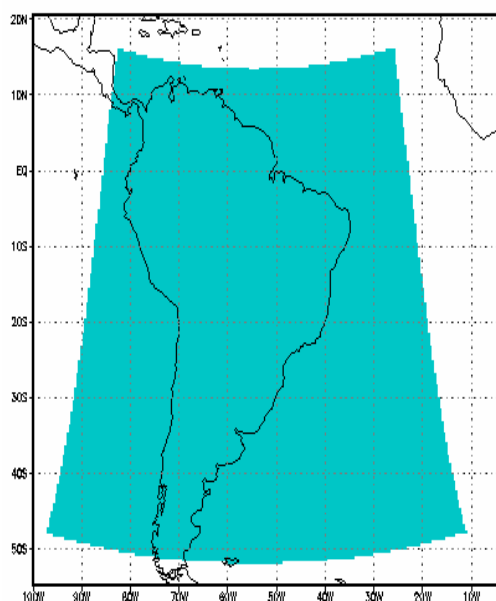


Figura 1 – Domínio do modelo .

O modelo tem sido avaliado para diferentes situações meteorológicas (Chou e Justí da Silva, 1999; Tippet e da Silva, 1999, Betts et al., 1997). Na América do Sul, o Eta do INPE/CPTEC tem sido utilizado para estudos de fenômenos como jatos de baixos níveis (Saulo et al., 2000); trocas de massas de

ar (Seluchi e Chou, 1999), vento zonda (Chou, 1998 e Seluchi et al., 2003), chuvas tropicais (Chou et al., 2004) e estudos de processos de superfície (Chou et al., 2003). O modelo tem sido extensivamente avaliado para prazos de previsão de 3 a 5 dias. A qualidade da precipitação prevista de 36 horas pelo modelo mostrou-se comparável, geralmente superior, aos produtos de chuva estimados por sensoramento remoto na avaliação realizada por Gonçalves et al. (2006). Previsões no prazo sazonal apresentam limitação na representação da variabilidade intra-sazonal, estas previsões podem ser melhor aproveitadas na forma de médias sazonais (Chou et al., 2005).

a. Previsões

O modelo foi integrado para o prazo de 10 dias, na resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 níveis. As condições iniciais foram provenientes das análises do modelo global do NCEP na resolução de aproximadamente 200 km. Estas condições alimentaram o modelo global do CPTEC (Bonatti, 1996; Cavalcanti et al., 2003) na resolução de aproximadamente 200 km, que foi integrado igualmente para o prazo de 10 dias. Estas previsões do modelo global foram fornecidas como condição de contorno lateral para o Modelo Eta a intervalos de 6 horas. As tendências nos contornos laterais eram aplicadas linearmente neste intervalo de 6 horas. O modelo Eta utiliza as informações de temperatura, umidade específica, vorticidade, divergência e pressão à superfície de uma grade de aproximadamente 200 km de resolução e 28 níveis verticais do modelo Global do CPTEC. Como condição de contorno inferior, foi utilizada a temperatura da superfície do mar diária e umidade do solo mensal climatológica. As previsões foram produzidas semanalmente, iniciando todas as quartas-feiras às 12:00 (*Universal Time Coordinate – UTC*), para os anos de 1996 a 2001.

b. Qualidade da previsão

A qualidade da previsão pode ser medida pela magnitude do erro da previsão, definido como a diferença entre o valor previsto e o observado. Os erros da previsão são geralmente provenientes da baixa qualidade das condições iniciais e das limitações do modelo numérico. A maior resolução horizontal permite ao modelo representar estruturas espaciais mais detalhadas e também maiores amplitudes nas variações. Esta maior variabilidade pode ocasionalmente acarretar em erros maiores que aqueles gerados pelo modelo de mais baixa resolução. Bustamante et al. (2005) compararam os erros da previsão entre o modelo global do CPTEC e o

Modelo Eta para o prazo de previsão de 10 dias. Notou-se que o Eta apresentava erros de previsão de magnitude comparável ao do global e por vezes menor. Durante o prazo de previsão de 10 dias, observou-se que a maior taxa de crescimento dos erros de previsão do modelo ocorreu entre o quinto e o oitavo dia. Os erros apresentaram tendência a se estabilizar em torno do nono e décimo dia.

Após o 5º dia do horizonte de integração, as previsões perdem qualidade no uso de escala diária. Isto significa que, por exemplo, uma frente fria prevista para alcançar uma localidade em um determinado dia, pode se atrasar ou adiantar em um dia, ou mesmo ter se dissipado. A incerteza da previsão cresce espacialmente e temporalmente. Uma bacia hidrográfica pequena pode perder mais facilmente a chuva associada a uma frente fria mal posicionada na previsão.

A qualidade das previsões de curto prazo, até aproximadamente 3 a 5 dias, é fortemente dependente da qualidade das condições iniciais. Estas condições são geradas pelo NCEP a partir das observações de baixa densidade da rede meteorológica do continente, combinadas ao modelo de baixa resolução horizontal do modelo global do NCEP. Estas condições são interpoladas na grade de maior resolução do Eta, 40 km, como condição inicial. Durante as primeiras seis horas de integração, os campos iniciais sofrem fortes ajustes neste processo de acomodação à grade e à dinâmica do Modelo Eta. Esta acomodação pode durar até aproximadamente 12 horas. Algumas variáveis do modelo, como nuvens e precipitação, iniciam com valores irrealisticamente nulos e alcançam valores próximos da observação após estas primeiras horas da integração. Este período de ajuste inicial da chuva é conhecido como tempo de “spin-up” da chuva. Estes ajustes iniciais ou acomodação do modelo às condições iniciais são responsáveis pelo crescimento dos erros no 1º dia da integração (Bustamante et al., 2005).

Nas avaliações de precipitação realizadas por Chou e Justi (1999) e Bustamante et al. (1999) mostraram que as previsões de 24 horas apresentaram erros sistemáticos maiores que os horários de 36 a 60 horas de integração. Notou-se que havendo superestimativa ou subestimativa de chuva acumulada nas primeiras 24 h, o padrão inicial do erro se reduzia nas previsões de 48 h. Chuvas fracas e moderadas eram geralmente superestimadas, enquanto que as chuvas de maior intensidade eram subestimadas. Esta subestimativa das chuvas intensas pode ser parcialmente explicada pela resolução horizontal do modelo. A representatividade da previsão é para uma área de 40 km x 40 km na horizontal.

Portanto, o valor da previsão é médio ou homogêneo na caixa da grade prevista pelo modelo. Chuvas de alta intensidade ocorrem geralmente em dimensões de poucos quilômetros. Alta instabilidade atmosférica de dimensão menor que a resolução do modelo não é detectada ou representada diretamente.

AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES DE PRECIPITAÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as avaliações da precipitação modelada pelo Eta no período de 1996 a 2001, realizadas por algumas consultoras contratadas pelo ONS para o desenvolvimento de modelos de previsão de vazão com incorporação de previsão de precipitação e de precipitação observada. Essas análises foram realizadas para a previsão de precipitação para um horizonte de 10 dias sobre trechos específicos de algumas bacias hidrográficas do SIN, conforme apresentado na Figura 2.

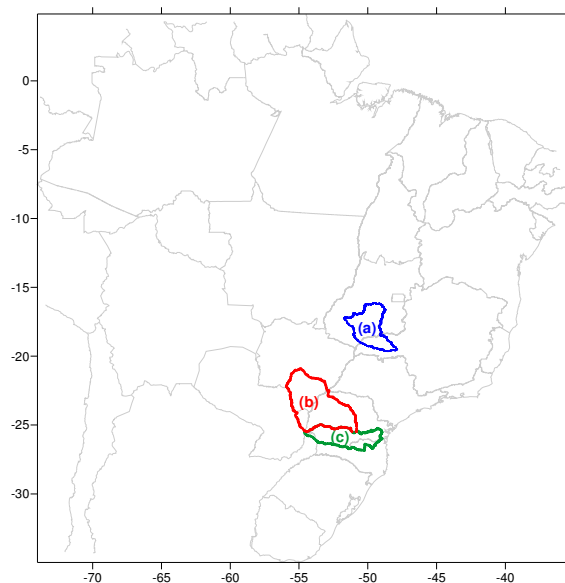


Figura 2 - Bacias hidrográficas onde foram realizadas as avaliações da precipitação..(a) bacia do rio Paranaíba; (b) bacia do rio Paraná e (c) bacia do rio Iguaçu.

Nos estudos realizados pela consultora Rhama Consultoria Ambiental Ltda foi identificado que o desempenho da previsão de precipitação obtida com o modelo Eta melhora à medida que são analisadas previsões de precipitação agrupadas em

mais de um dia. Esse fato foi constatado tanto para a bacia do rio Paranaíba quanto para a bacia do rio Paraná, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4, onde são apresentadas as comparações entre a precipitação acumulada observada e prevista pelo Eta para horizontes de 1 a 7 dias.

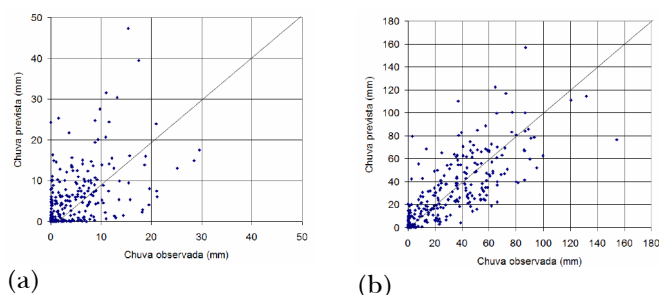


Figura 3 - Comparação entre a precipitação observada e prevista para a bacia do rio Paranaíba para um horizonte de 1 dia (a) e acumulada em 7 dias (b).

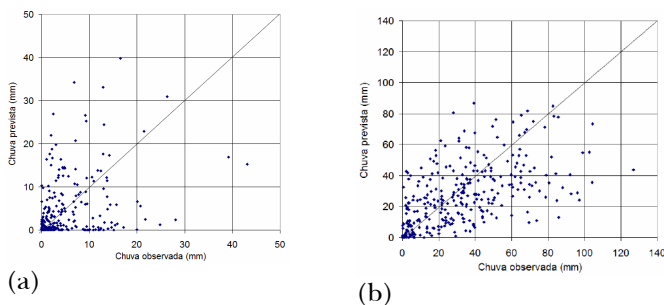


Figura 4 - Comparação entre a precipitação observada e prevista para a bacia do rio Paraná para um horizonte de 1 dia (a) e acumulada em 7 dias (b).

Nas figuras 3 e 4 pode-se perceber que a dispersão entre a chuva observada e a prevista diminui bastante quando comparamos a precipitação prevista acumulada em 7 dias ao invés da previsão de precipitação acumulada para um único dia. A Figura 5 mostra o índice de correlação entre a precipitação observada e a prevista para as bacias dos rios Paraná, Paranaíba e São Francisco, sendo que para essa última bacia o cálculo dos índices foi feito separadamente para o trecho da bacia a montante da UHE Três Marias (região central do estado de Minas Gerais) e para o trecho incremental entre Três Marias e Sobradinho (noroeste de Minas Gerais e centro-oeste da Bahia). Cabe ressaltar que nessa figura o eixo das abscissas apresenta o número de dias em que a precipitação foi acumulada, variando da previsão de um dia de precipitação acumulada até a pre-

cipitação acumulada em 10 dias. A partir da análise dessa figura pode-se concluir que, para o período e para as bacias analisadas, a previsão de precipitação obtida com o modelo Eta apresenta o melhor desempenho para o trecho incremental a UHE Sobradinho e o pior para a bacia do rio Paraná (trecho incremental a Itaipu). Pode-se observar também que a correlação entre a chuva observada e a prevista aumenta em todas as bacias à medida que a precipitação é acumulada no tempo, sendo que essa melhoria é mais acentuada nos primeiros dias de acúmulo da precipitação se estabilizando após 4 ou 5 dias. Os erros da previsão, sejam por atraso, intensidade ou posicionamento dos sistemas de chuvas, tendem a se compensar conforme o intervalo de acúmulo cresce.

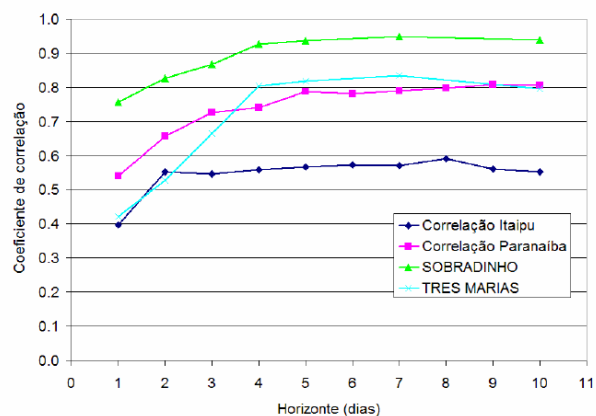


Figura 5 - Índice de correlação entre a precipitação observada e prevista acumulada em horizontes de 1 a 10 dias.

No estudo realizado pela consultora FCTH/USP para o trecho da bacia do rio Paraná incremental a UHE Itaipu foi observado que não existe uma sazonalidade bem definida em relação aos erros da previsão de precipitação acumulada em 7 dias, como pode ser percebido na Tabela 1. Outro fato importante notado nos dados dessa tabela é que a maior parte dos erros absolutos da precipitação prevista se situa na faixa entre -5 e 5 mm, o que significa que 73% ou a maioria dos erros são pequenos. Nos casos dos erros superiores a 5 mm, em módulo, observa-se uma maior concentração nos erros negativos, o que mostra uma tendência do modelo em subestimar as precipitações mais intensas. Os casos onde a previsão de precipitação supera o valor observado em mais de 30 mm ocorrem com porcentagens muito baixas, entre 3% a 6% dos casos analisados. Esses resultados são importantes tendo em vista

que erros pequenos na previsão de precipitação geralmente geram somente pequenos ruídos nas previsões de vazão.

Tabela 1 - Distribuição de frequência dos erros absolutos da precipitação prevista acumulada em 7 dias para a área da bacia do rio Paraná controlada pelo posto fluviométrico de Balsa Santa Maria.

Erro absoluto	Período				TOTAL
	OUT-DEZ (primavera)	JAN-MAR (verão)	ABR-JUN (outono)	JUL-SET (inverno)	
erro < -60 mm	4%	3%	10%	8%	6%
erro < -30 mm	18%	20%	18%	14%	17%
erro < -5 mm	45%	66%	40%	32%	45%
erro = 0	0%	0%	1%	4%	1%
erro > 5 mm	32%	24%	19%	32%	27%
erro > 30 mm	4%	3%	3%	6%	4%
erro > 60 mm	0%	1%	0%	0%	0%

Essa tendência em subestimar as precipitações mais intensas também foi notada pela consultora LACTEC nas suas análises da previsão de precipitação sobre a bacia do rio Iguaçu. Na figura 6 está representada a curva de permanência dos desvios absolutos médios da previsão de precipitação obtida com o modelo Eta para o trecho da bacia do rio Iguaçu a montante da UHE Foz do Arcia. Nessa figura estão representados somente os erros da previsão de precipitação quando a precipitação observada foi superior a 10 mm. É notável as concentrações dos maiores erros na previsão de precipitação, para todos os horizontes de previsão (HP), no eixo negativo das ordenadas da Figura 6, o que demonstra a tendência nas previsões de precipitação em subestimar as precipitações observadas mais intensas.

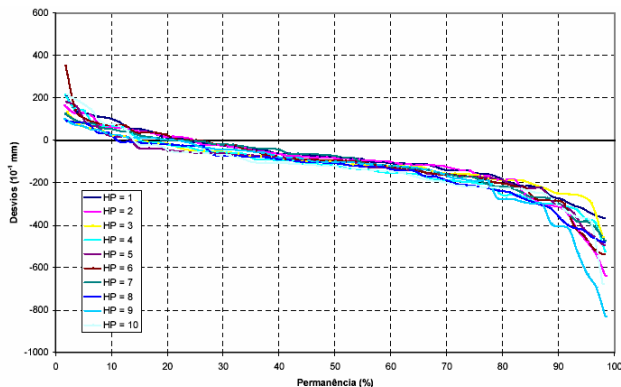


Figura 6 - Curva de Permanência dos erros na previsão de precipitação obtida com o modelo Eta nos casos onde ocorreram precipitações observadas maiores que 10 mm.

Quando as previsões de precipitação foram comparadas com os dados observados em curtos

intervalos de tempo, observaram-se alguns eventos onde a previsão de precipitação não conseguiu reproduzir o comportamento da precipitação observada. Alguns desses eventos, como o apresentado na Figura 7 para a bacia do rio Paraná, foram analisados pelos autores. A maior diferença entre a precipitação prevista acumulada em 7 dias e a precipitação observada indicada na Figura 7, refere-se à semana entre 11/05/2002 e 18/05/2002. Os totais previstos de precipitação para esse período foram de cerca de 20 mm, enquanto a precipitação observada superou os 180 mm. Nesse caso, foi observado que, 2 dias após a inicialização do modelo foram criadas condições atmosféricas favoráveis à formação de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) no Paraguai, que se deslocaram para o oeste do Paraná, ocasionando os elevados índices de precipitação observados nesse período. Esse tipo de evento quando ocorrer em um passo de tempo muito distante das condições iniciais utilizadas na modelagem, assim como os eventos de escala inferior a mesoescala, dificilmente conseguirão ser capturados durante a integração do modelo.

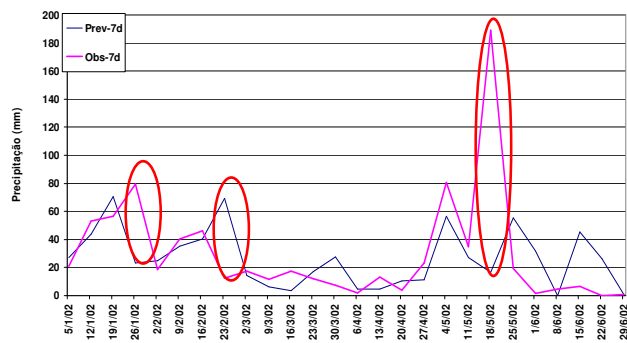


Figura 7 - Precipitação observada versus precipitação prevista acumulada em 7 dias para a bacia do rio Paraná no 1º semestre de 2002.

CONCLUSÕES

Nas análises da precipitação prevista para um horizonte de dez dias, obtida com a utilização do modelo numérico Eta/CPTEC, para três bacias hidrográficas integrantes do SIN, não foram encontrados erros sistemáticos que pudessem permitir algum tipo de correção estatística ou baseada em técnicas de inteligência artificial. No entanto, alguns pontos puderam ser notados:

- A precipitação prevista tende a apresentar uma melhor aderência aos dados observados quando agrupada em períodos superiores a um dia;
- Para precipitações mais intensas (superiores a 10 mm) o modelo apresenta uma tendência em subestimar as precipitações observadas;
- Nos casos estudados, em poucas vezes as previsões de precipitação superaram os valores observados em mais de 30 mm (cerca de 4% no caso da bacia do rio Paraná).
- Alguns eventos iniciados em passos de tempo distantes das condições iniciais utilizadas pelo modelo e eventos em escala inferiores a mesoescala (menores que 100 km) muitas vezes não são capturados corretamente durante o período de integração do modelo.

É importante ressaltar que, mesmo com a verificação dessas imprecisões nas previsões de precipitação obtidas com a utilização do modelo Eta, pode-se concluir que essa previsão de precipitação é potencialmente útil como subsídio para o processo de previsão de vazões naturais, podendo ainda a sua utilização ser mais bem aproveitada a partir de novos aprimoramentos no modelo que venham a construir previsões de precipitação mais acuradas.

REFERÊNCIAS

- ARAKAWA, A. and LAMB, V.R. Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. *Methods Comput. Phys.* 17: 173-265, 1977.
- BETTS, A. K.; MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX and arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, v 112, p 693-709. 1986.
- BETTS, A. K.; F. CHEN; K. E. MITCHELL; Z. I. JANJIC. Assessment of the land surface and boundary layer models in two operational versions of the NCEP Eta using FIFE data. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 2896-2916, 1997.
- BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Wea. Forecasting*, 9, 265-278, 1994.
- BONATTI, J. P.: Modelo de Circulação Geral Atmosférico do CPTEC, Climanálise. Special Edition, 1996.
- BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J.L.; CHOU, S. C. Evaluation of April 1999 rainfall forecasts over South America using the Eta Model *Revista Brasileira de Meteorologia*. V.20, n1, 59-70, 1999.
- BUSTAMANTE, J. F.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; GOMES, J. Uma avaliação da previsibilidade de tempo do Modelo Eta para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*. V.20, n1, 59-70, 2005.
- CAVALCANTI, I. F. A., MARENGO, J. A., SATYAMURTY, P., et al.: Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM, *J. Climate*, 15, 21, 2965-2988, 2003.
- CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; MITCHELL, K. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. *Boundary Layer Meteorology*, V. 85, 391-421, 1997.
- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 12,537-555, 2005.
- CHOU, S. C., J. F. BUSTAMANTE, J. R. ROZANTE. Eta Model forecasts for the Venezuela Flood Event of December 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 19(1), 99-112, 2004.
- CHOU, S. C.; TANAJURA, C. A. S.; XUE, Y.; NOBRE, C. A. Simulations with the Coupled Eta/SSiB Model over South America. *Journal of Geophysical Research*, Estados Unidos, 2003.
- CHOU, S. C.; JUSTI da SILVA, M.G.A. Avaliação objetiva das previsões de precipitação do modelo regional Eta. *Climanálise*, 1, 1999.
- CHOU, S. C. Condições atmosféricas durante ocorrência do vento zonda – o foehn da América do Sul. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Brasília, DF., 1998.
- FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D. The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations. *J. Atmos. Sci.*, 32, 1475-1488, 1975.
- GONÇALVES, L. G. G; SHUTTLEWORTH, W. J.; NIJSSEN, B.; BURKE, E. J.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; HOUSER, P.; TOLL, D. L. Evaluation of model-derived and remotely sensed precipitation products for continental South America. *J. Geophys. Res.*, 111,D16113, 2006.
- JANJIC, Z.I. Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contributions to Atmospheric Physics*, Vol. 52, 69-84, 1979.
- 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, 927-945, 1994.
- LACIS, A. A.; HANSEN, J. E.: A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 118-133, 1974.

- MAHRT, L.; EK, M. The Influence of Atmospheric Stability on Potential Evaporation, *J. Clim. Appl. Meteorol.* **23**, 222–234, 1984.
- MAHRT, L.; PAN, H. L. A Two-Layer Model of Soil Hydrology, *Boundary-Layer Meteorol.* **29**, 1–20, 1984.
- MESINGER, F.: An economical explicit scheme which inherently prevents the false two-grid-interval wave in the forecast fields, Symp. "Difference and Spectral Methods for Atmosphere and Ocean Dynamics Problems", Academy of Sciences, Novosibirsk 1973, Part II, 18–34, 1974.
- MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Riv. Meteor. Aeronaut.*, **44**, 195–202, 1984.
- MESINGER, F.; JANJIĆ, Z. I.; NIJKOVIĆ, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G.: The step-mountain coordinate: Model description description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1493–1518, 1988.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1791–1806, 1974.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T.: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**, 851–875, 1982.
- PAN, H-L.; MAHRT, L. Interaction Between Soil Hydrology and Boundary-Layer Development, *Boundary-Layer Meteorol.* **38**, 185–202, 1987.
- SAULO, A.C; NICOLINE, M.; CHOU, S.C. Model characterization of the south american low-level flow during the 1997-1998 spring-summer season. *Climate Dynamics*, 867–881, 2000.
- SELUCHI, M.E.; CHOU, S.C. Intercambios de masas de aire entre latitudes tropicales y extratropicales de Sudamerica. *Climanálise*, Cachoeira Paulista, SP, v. 14, n. 5, 1999.
- SELUCHI, M; NORTE, F.A.; SATYAMURTY, P; CHOU, S.C. Analysis of three situations of the foehn effects over the Andes (zonda wind) using the Eta-CPTEC regional model. *Weather and forecasting*. June. 481–501, 2003.
- TIPPETT, M. K. ; DA SILVA, A. Model error estimations for the CPTEC Eta Model. *Climanálise*, 1999.
- ZHAO, Q. AND CARR, F. H.: A prognostic cloud scheme for operational NWP Models, *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1931–1953, 1997.

Analysis of Precipitation Forecasts Obtained Using the Eta Model as an Input for Weekly Forecasting Models of Natural Discharge.

ABSTRACT

In this paper we show the evaluation of the Eta model of ten-day precipitation forecasts in a 6-year study period of three basins in Brazil. For application in inflow forecast models, the precipitation forecasts were accumulated from one to ten days. The results indicate that the Eta precipitation forecasts have no clear systematic errors over these basins that can be treated with traditional statistical techniques. These forecasts generally underestimate the heaviest precipitation and perform better when rain accumulates over three or more days. Despite these forecast errors, the river discharge models have shown improvements when driven by these forecasts.

Key-words: Precipitation forecasts, Eta Model, Discharge forecasts