



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **TESTES E AJUSTES NOS ESQUEMAS DE PRODUÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DO MODELO ATMOSFÉRICO ETA NA REGIÃO DO ALTO SÃO FRANCISCO**

*Raphael Moreira Gomes Vieira<sup>1</sup>; Sin Chan Chou<sup>1</sup>; Jorge Luís Gomes<sup>1</sup>  
Claudine Pereira Dereczynski<sup>2</sup>; Arthur Chaves de Paiva Neto<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais CEP: 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP, Brasil

<sup>2</sup> Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Bloco G - Cidade Universitária - CEP: 21941-916 Rio de Janeiro - RJ, Brasil

<sup>3</sup> Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG  
Av. Barbacena, 1200 - Santo Agostinho - Belo Horizonte

E-mails: rorask@gmail.com, chou.sinchan@cptec.inpe.br, jorge.gomes@cptec.inpe.br  
claudinedereczynski@gmail.com, arthur.paiva@cemig.com.br

**Resumo** – Neste trabalho simulações a partir de 3 experimentos utilizando modelo de previsão numérica de tempo Eta do CPTEC/INPE, na resolução espacial de 8km, são avaliadas para um período contínuo de 2 meses (entre dezembro/2012 até janeiro/2013) na Bacia do Rio São Francisco, à montante da UHE Três Marias (MG). O objetivo do trabalho é contribuir para a melhoria das previsões de chuva na área estudada. As simulações de precipitação para o horizonte de 72 horas são comparadas com dados observacionais em 6 casos de chuvas intensas, ocorridos nos dois meses estudados. Tais simulações são configuradas para os experimentos EXP1, tendo 75% dos valores de déficit de pressão de saturação (DPS), EXP2 com 100% dos valores de DPS e aumento de 20% na velocidade terminal da neve e EXP3 com 50% dos valores de DPS. As avaliações objetiva e subjetiva indicam que o teste EXP3 apresenta melhores resultados do que os demais experimentos.

**Palavras-Chave** – simulação, precipitação, modelo Eta.

### **TESTING AND ADJUSTMENT SCHEMES IN PRODUCTION OF RAINFALL OF ETA ATMOSPHERIC MODEL IN THE REGION OF THE HIGH SÃO FRANCISCO**

**Abstract** – In this work simulations from 3 experiments using CPTEC/INPE's Eta numerical weather prediction model, the spatial resolution of 8km, are evaluated for a continuous period of 2 months (from december/2012 to january/2013), at São Francisco River Basin, upstream Três Marias Hydroelectric Power Plant (MG). The objective is to contribute to the improvement of rainfall forecasts in the studied area. The simulations of precipitation to the horizon 72 hours are compared with observational data of 6 cases of heavy rains, occurred in the two months studied. These simulations are set up for the experiment EXP1, having 75% of the values of deficit saturation pressure (DSP), EXP2 with 100% of values of DSP and 20% increase in the terminal velocity of snow and EXP3 with 50% of the values of DSP. The objective and subjective evaluations indicate that EXP3 test, presents better results than the other experiments.

**Keywords** – simulation, precipitation, Eta model.

## 1. INTRODUÇÃO

Previsões meteorológicas são extremamente importantes para o setor elétrico, beneficiando atividades relacionadas à geração, transmissão e distribuição da energia. Como no Brasil aproximadamente 90% da matriz energética é composta por hidrelétricas (<http://ons.org.br>), a meteorologia pode contribuir para o melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Neste trabalho simulações de precipitação obtidas por modelagem numérica regional de alta resolução, são utilizadas para a área do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Três Marias, localizada na sub-bacia do Alto São Francisco, entre os paralelos 18° e 21° S e os meridianos 43°30' e 46°40' W no Estado de Minas Gerais (Região Sudeste do Brasil). A UHE de Três Marias, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), tem uma potência instalada de 396 MW e possui um reservatório (lago da represa) de 21 bilhões de metros cúbicos de água. Sua construção, iniciada em maio de 1957 e concluída em janeiro de 1961, teve como principais objetivos a regularização das vazões do Rio São Francisco em parte de seu trecho Médio, o controle das enchentes nesse trecho durante as cheias periódicas, melhoria da navegabilidade, utilização do potencial hidrelétrico e fomento da indústria e irrigação [ONS (2009)]. A energia gerada na UHE de Três Marias contribui com cerca de 23% da energia para o Subsistema Nordeste.

Os eventos que ocorrem no período chuvoso provocam alterações no regime hidrológico, afetando a operação hidráulica da usina. Para este estudo o modelo regional Eta do CPTEC/INPE [Mesinger *et al.* (2012)] foi configurado sobre a região da Bacia do Rio São Francisco, à montante da UHE Três Marias em Minas Gerais com resolução espacial de 8 km. Simulações para o período

contínuo de 2 meses (dezembro/2012 até janeiro/2013) são elaboradas para três experimentos de produção de precipitação, pertencente ao modelo Eta. O desempenho do modelo para simular a precipitação é avaliado com objetivo de contribuir para a melhoria das previsões de chuvas intensas na região.

## 2.DADOS E METODOLOGIA

### 2.1 Avaliação objetiva

A metodologia empregada na avaliação objetiva é a mesma usada em Chou e Justi da Silva (1999). Calculam-se o BIAS ou Viés e o ‘Equitable Threat Score’ ou Índice Crítico de Sucesso Equitativo (ETS), conhecidos também como variáveis categóricas, conforme as equações descritas a seguir.

$$BIAS = \frac{F}{O} \quad (1)$$

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad (2)$$

$$CH = \frac{F \times O}{N} \quad (3)$$

onde F é o número de eventos previstos para cada limiar de intensidade de chuva, O é o número de eventos observados, H é o número de acertos, CH é o fator de correção e N o número total de eventos.

Os limiares de precipitação utilizados variam da categoria chuva-não chuva à chuva extremamente forte, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Limiares em mm por dia e classificação da intensidade da precipitação.

Limiares (mm/dia)	Classificação da Chuva
$\geq 0,254$	Chuva/não chuva
$\geq 2,54$	Chuva fraca

$\geq 6,35$ $\geq 12,7$ $\geq 19,05$	Chuva moderada
$\geq 25,4$ $\geq 38,1$	Chuva forte
$\geq 50,8$	Chuva extremamente forte

A precipitação prevista é comparada com a precipitação observada, aqui denominada “Merge” que é a combinação entre os dados pluviométricos observados (GTS, PCDs) e o produto proveniente do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). A avaliação é feita para todo o domínio do modelo Eta-8km, ou seja, para a área compreendida entre os paralelos 13,1 e 25,5°S e os meridianos 37,9 e 53,5°W para o período em estudo (dezembro/2012 a janeiro/2013).

## 2.2 Avaliação subjetiva

A avaliação subjetiva das simulações para o horizonte de 72 horas é elaborada confrontando-se visualmente a localização das bandas de chuva prevista pelo modelo Eta-8km, com o posicionamento da faixa de precipitação observada interpoladas em uma grade regular de 25 km de resolução horizontal (merge).

## 2.3 Experimentos

Os testes de ajustes dos esquemas de convecção Betts-Miller-Janjic (BMJ), microfísica de nuvens Ferrier e combinações entre o esquema de convecção Betts-Miller-Janjic e a microfísica de nuvens Ferrier do modelo Eta [Mesinger *et al.* (2012)] são realizados tendo como base os casos descritos na Tabela 2 a seguir, com suas respectivas estações da CEMIG onde registraram-se os eventos de chuva intensa, ocorridos durante o período de 2 meses (dezembro de 2012 a janeiro de 2013). As integrações são executadas utilizando-se o modelo Eta [Mesinger *et al.* (2012)]. Para as condições iniciais e de contorno utilizam-se os dados do Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), a cada 6 horas. As simulações são produzidas para o horizonte de 72 horas, com início às 12UTC.

Tabela 2 – Eventos destacados de chuvas intensas (entre dezembro de 2012 e janeiro de 2013)  
com registro de precipitação observada nas estações da CEMIG.

Evento	Causa	Dia do maior total pluviométrico diário	Maior total pluviométrico diário (mm)	Estação
1	Frente Fria	09/12/2012	30,0	São Roque de Minas
2	Frente Fria	13/12/2012	50,0	Cajuru
3	Intensa Instabilidade Atmosférica	20/12/2012	41,0	Porto Pará
4	Frente Fria	30/12/2012	36,0	Fazenda Campo Grande
5	Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	11/01/2013	44,0	Iguatama Montante
6	Frente Fria	29/01/2013	87,0	Iguatama Montante

O esquema de parametrização de Betts-Miller-Janjic é um tipo de ajuste convectivo em que a atmosfera é relaxada em direção a um perfil vertical prescrito. Esse tipo é baseado em um simples conceito de que quando a atmosfera exibe um “lapse-rate” instável, em condições secas, a mistura ocorre espontaneamente e provoca um retorno para um “lapse-rate” neutro; em condições saturadas, ocorre condensação e o estado final é “lapse-rate” neutro úmido. No esquema de BMJ, três parâmetros controlam o ajuste do perfil termodinâmico de referência, que são:

- i) Déficit de pressão de saturação (DPS): que determina o perfil de referência de umidade. O déficit de pressão de saturação representa o quanto a pressão de uma dada parcela deverá ser reduzida por levantamento para que a parcela atinja a saturação. Este parâmetro é definido em três níveis, na base da nuvem, no nível de congelamento e no topo da nuvem e interpolado linearmente nos níveis intermediários.
- ii) Coeficiente de estabilidade ( $\Gamma$ ): que determina o “lapse-rate” da temperatura de referência comparada à adiabática úmida.
- iii) Tempo de ajuste convectivo ( $\tau_c$ ): que é o tempo de relaxação para a remoção da instabilidade convectiva encontrada na coluna.

Tal esquema de convecção também está relacionado o termo FEFI, o qual define a eficiência de produção de precipitação de uma nuvem cúmulos, levando em consideração os estágios de crescimento e decaimento da nuvem.

O esquema de microfísica de nuvens Ferrier está associado ao termo RHGRD, que define o valor de umidade relativa no ponto de grade ao qual se inicia a formação das gotas de nuvens (nuvens quentes) pela microfísica. A velocidade terminal da neve é outro parâmetro utilizado na microfísica, que divide o perfil vertical em 3 partes:  $T > 0^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$  e  $T < -10^{\circ}\text{C}$ . Para temperaturas positivas ( $T > 0^{\circ}\text{C}$ ) o esquema de microfísica Ferrier só permite água líquida. A segunda parte ( $-10^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$ ) é denominada zona mista onde temos a presença de gelo e gotas líquidas super geladas e abaixo de  $-10^{\circ}\text{C}$  só é permitido a presença de gelo, e neste caso serão considerados somente os processos relacionados com a formação de gelo.

Neste trabalho são realizados três experimentos com os esquemas de convecção Betts-Miller-Janjic (EXP1), microfísica de nuvens Ferrier (EXP2) e combinação entre o esquema de convecção Betts-Miller-Janjic e a microfísica de nuvens Ferrier (EXP3), utilizando o modelo Eta para os 6 casos de chuvas intensas destacados na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta as configurações para cada um dos 3 experimentos utilizados.

Tabela 3 – Testes com os esquemas de produção de precipitação do modelo Eta.

Unidades do DPS e velocidade terminal da neve: Pascal (Pa) e m/s.

RHGRD e FEFI são adimensionais.

Teste	Parâmetros
EXP1	75% dos valores de DPS:-3375;-4125;-1500 RHGRD = 0,97 (Controle)
EXP2	100% dos valores de DPS:- 4500;-5500;-2000 (Controle); RHGRD = 0,97 (Controle) Aumento de 20% na velocidade terminal da neve
EXP3	50% dos valores de DPS:-2200;-2700;-1000 , FEFI=2-.FEFI e RHGRD = 0,95

### 3. RESULTADOS

Na Tabela 4 estão os valores dos índices BIAS e ETS relativos ao período contínuo de 2 meses. Analisando-se o BIAS (Tabela 4a), nota-se uma superestimativa do número de eventos de chuvas fracas a moderadas (0,254 até 12,7 mm/dia). Destaca-se no limiar de 50,8 mm/dia a subestimativa de precipitação nos testes EXP1 e EXP2, o que não ocorre no experimento EXP3, onde há uma superestimativa do número de eventos de chuvas extremamente fortes e valores próximos a 1 (valor ideal). Para o índice ETS (Tabela 4b), nota-se um decaimento acentuado em direção aos limiares de chuva mais elevados. Os maiores valores do ETS ocorrem para limiares de chuvas fracas (0,254 a 2,54 mm/dia). No limiar de 50,8 mm/dia (chuvas extremamente fortes), o teste EXP3 também apresenta melhor resultado.

Tabela 4 – Valores de (a) BIAS e (b) ETS relativos às simulações de chuvas do Eta-8km para o período de 2 meses nos três testes, onde utiliza-se o esquema de convecção Betts-Miller-Janjic (EXP1), microfísica de nuvens Ferrier (EXP2) e combinação entre o esquema de convecção Betts-Miller-Janjic e a microfísica de nuvens Ferrier (EXP3).

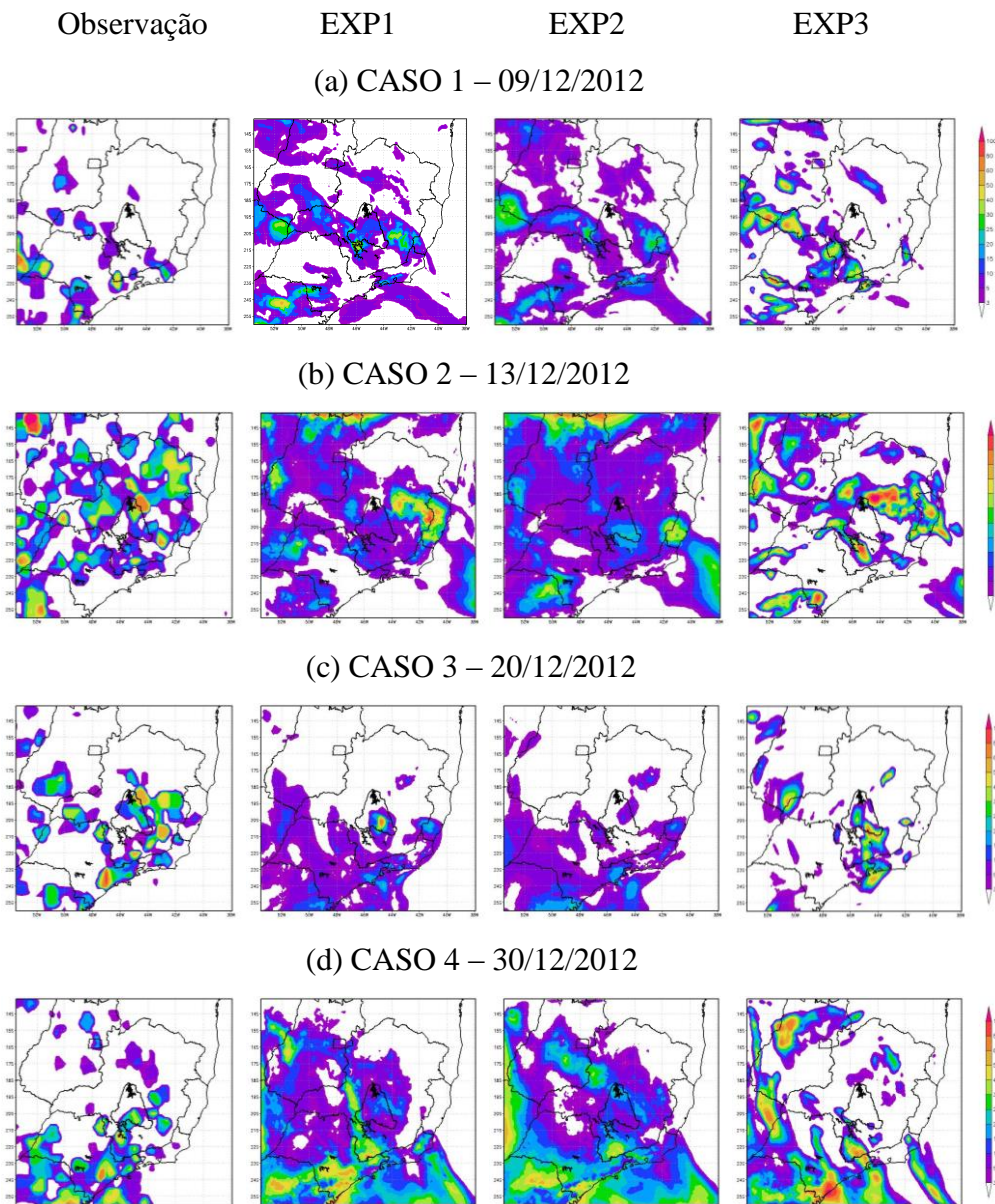
(a) BIAS

Limiares (mm/dia)	EXP1	EXP2	EXP3
0,254	1,38	1,38	1,18
2,54	1,51	1,57	1,18
6,35	1,44	1,56	1,09
12,7	1,24	1,45	1,01
19,05	1,11	1,32	0,99
25,4	1,04	1,22	1,01
38,1	1,04	1,11	1,12
50,8	0,88	0,73	1,09

(b) ETS

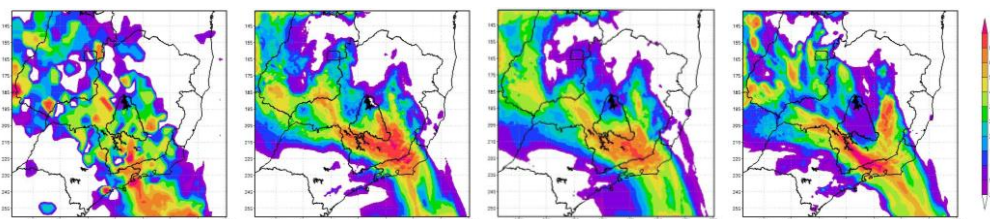
Limiares (mm/dia)	EXP1	EXP2	EXP3
0,254	0,44	0,48	0,42
2,54	0,31	0,35	0,29
6,35	0,22	0,25	0,21
12,7	0,15	0,17	0,16
19,05	0,11	0,12	0,13
25,4	0,09	0,10	0,10
38,1	0,05	0,06	0,05
50,8	0,02	0,02	0,03

Para a avaliação subjetiva, cujo critério para definir o experimento com os melhores resultados é a posição, orientação, intensidade da banda de precipitação e do núcleo de máxima intensidade de chuva, o experimento EXP3 apresentou os melhores resultados em 4 casos (1 ao 4) e os experimentos EXP1 e EXP2 com 1 evento cada um (5 e 6 respectivamente), quando comparado com o campo observado. A Figura 1 apresenta os campos de precipitação observada e simulada pelo Eta-8km para o horizonte de 72 horas.





(e) CASO 5 – 11/01/2013



(f) CASO 6 – 29/01/2013

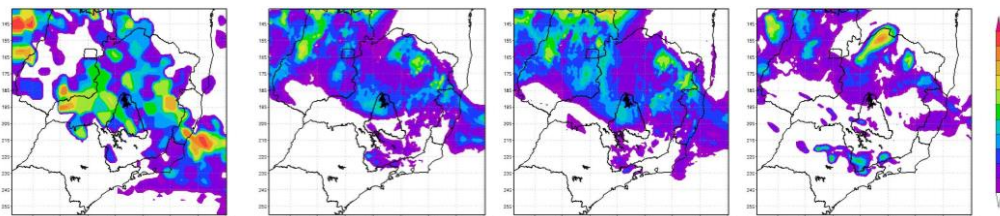


Figura 1 – Precipitação acumulada (mm/dia) em 24 horas pelo modelo Eta-8km nos esquemas de produção de precipitação (entre 12 UTC do dia anterior e 12 UTC do dia em questão): observação (primeira coluna); experimentos EXP1 (segunda coluna), EXP2 (terceira coluna) e EXP3 (quarta coluna). Simulações de chuva com 72 horas de antecedência para os dias (a) 09/12/2012; (b) 13/12/2012; (c) 20/12/2012; (d) 30/12/2012; (e) 11/01/2013 e (f) 29/01/2013 às 12UTC.

#### 4. CONCLUSÕES

Para este estudo, o modelo Eta do CPTEC/INPE foi configurado sobre a região da Bacia do Rio São Francisco, à montante da UHE Três Marias em Minas Gerais na versão de 8 km. Simulações para um período contínuo de 2 meses foram elaboradas para três experimentos associados ao esquema de convecção Betts-Miller-Janjic (EXP1), microfísica de nuvens Ferrier (EXP2) e combinação entre o esquema de convecção Betts-Miller-Janjic e a microfísica de nuvens Ferrier (EXP3) na região estudada. A avaliação objetiva das previsões do modelo Eta-8km para o período de dezembro de 2012 e janeiro de 2013 mostra que os testes de convecção EXP1 e EXP2 (EXP3) subestimam (superestimam) a quantidade de eventos de chuvas extremamente fortes. Da avaliação subjetiva, feita a simulação para o horizonte de 72 horas, verifica-se que o experimento EXP3 tem melhor performance em 4 dos 6 casos de chuvas intensas ocorridos durante os 2 meses de integração do Eta-8km.

## AGRADECIMENTOS

O trabalho foi desenvolvido através da participação dos autores no Programa P&D GT464 da CEMIG, regulado pela ANEEL.

## BIBLIOGRAFIA

CHOU, S.C.; JUSTI DA SILVA, M. G. A. (1999). Objective Evaluation of Eta Model Precipitation Forecasts Over South America. *Climanálise*. Ano 1. Nº. 1: pp.1-17.

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. (2012): An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*. Vol. 116, pp. 63-79, DOI: 10.1007/s00703-012-0182-z.

ONS (2009): *Previsão de Vazões Diárias ao Reservatório de Três Marias usando a Técnica de Redes Neurais*. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) NS, NT 051/9. 89 p.