



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **REFINAMENTO E AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES DE MODELO ETA/CPTEC**

RELATÓRIO FINAL

PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Nathália Silva de Oliveira (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [nathalia.meteoro@gmail.com](mailto:nathalia.meteoro@gmail.com)

Dra. Chou Sin Chan (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)  
E-mail: [chou@cptec.inpe.br](mailto:chou@cptec.inpe.br)

COLABORADORA

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)  
E-mail: [claudine@acd.ufrj.br](mailto:claudine@acd.ufrj.br)

Julho de 2007

# ÍNDICE

---

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1 Objetivos.....	2
2. METODOLOGIA.....	3
2.1. Refinamento estatístico.....	3
2.2. Refinamento dinâmico.....	3
2.3. Caracterização dos erros .....	4
2.4. Aumento da frequência do cálculo da radiação de onda longa.....	4
3. RESULTADOS.....	5
4. CONCLUSÃO E PRÓXIMAS ETAPAS.....	10
5. BIBLIOGRAFIA.....	10

---

## **1. INTRODUÇÃO**

As previsões do modelo Eta (Mesinger et al.,1988; Chou, 1996) geradas pelo Centro de Previsão de Tempo Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) têm sido consideradas ferramentas úteis para a elaboração das previsões de tempo pelos meteorologistas no Brasil. Estas previsões cobrem grande parte da América do Sul e são fornecidas duas vezes ao dia, às 0000 UTC e às 1200 UTC, para o prazo de antecedência de até 120 horas.

A resolução horizontal do modelo é de 40 km e a resolução vertical de 38 camadas. Isto significa que as previsões representam valores homogêneos nas caixas da grade de aproximadamente 40 km x 40 km, em cada camada. Entretanto, em regiões de orografia e vegetação complexas, esta representatividade se torna deficiente devido às diferenças nas características das superfícies que muitas vezes uma região de aproximadamente 40 km x 40 km pode apresentar.

Duas cidades que estão a menos de 40 km de distância uma da outra e apresentam diferenças de altitude ou vegetação, como Taubaté e Campos do Jordão, por exemplo, podem estar localizadas na mesma caixa de grade do modelo. Em casos desse tipo, o modelo numérico gera as previsões com base em dados médios, como altitude média e vegetação predominante da caixa de grade. Assim as previsões geradas pelo modelo numérico apresentam limitações que acabam por refletir diretamente na confiabilidade das previsões para uma localidade específica. Uma investigação na performance do modelo tem sido realizada neste trabalho com o intuito de identificar as regiões onde a previsão apresenta problemas e principalmente as causas dos erros sistemáticos. A partir daí, procura-se implementar as correções necessárias. As observações meteorológicas horárias da localidade da Praia do Marco, em São Miguel do Gostoso, Rio Grande do Norte, ( $5^{\circ} 7'0''S$ ,  $35^{\circ} 37'60''W$ ) no período de 07/08/2005 a 04/01/2006, são utilizadas. Tais dados observacionais são confrontados com as previsões de 48 e 72-h do modelo Eta-5 km.

### 1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é avaliar as previsões do Modelo Eta e implementar modificações em seu código, tais como por exemplo o aumento da frequência do cálculo da radiação de onda longa, a fim de produzir previsões de tempo de melhor qualidade.

## **2. METODOLOGIA**

### 2.1 Refinamento estatístico

Uma etapa anterior do trabalho aplicou uma correção estatística nas previsões de temperatura horária do modelo Eta para 7 capitais da Região Nordeste do Brasil baseado no esquema “Model Output Calibration” (MOC). Além disso foi realizada uma correção simples para as previsões de intensidade do vento a 50 m da superfície, para a cidade de Macau no Rio Grande do Norte, onde o modelo apresenta deficiências na representatividade. Tal correção foi realizada no sentido de reduzir os erros das previsões do modelo Eta. Esta etapa de refinamento estatístico foi desenvolvida pelo bolsista anterior.

A correção se baseou no esquema MOC desenvolvida por Mao et. al. (1999). O esquema é bastante simples e adequado para variáveis bem comportadas como a temperatura do ar. Diferente dos esquemas mais complexos, o MOC não estima diretamente a variável a ser corrigida, mas estima o erro da previsão da variável. Uma outra característica do MOC é o tamanho curto da série de treinamento, isso permite que o esquema facilmente se ajuste às mudanças e melhorias nas previsões do modelo e não há necessidade de “congelamento” do modelo para aplicar as correções.

Os testes realizados para as temperaturas das capitais da Região Nordeste e para a intensidade do vento de Macau mostraram que o algoritmo MOC foi eficiente em todos os casos, inclusive com a inclusão de algumas novas variáveis ao modelo o sistema tornou-se ainda mais eficiente. O ganho na redução dos erros com a aplicação do MOC, foi da ordem de 43% para o RMSE enquanto que a redução dos erros sistemáticos (BIAS) foi freqüente e ficou abaixo de  $|0,4|$  °C.

Na calibração do vento para a cidade de Macau, ficou evidente a vantagem da agregação de novas variáveis ao modelo, conforme observado através da comparação dos ganhos entre as séries geradas com e sem as novas variáveis.

O esquema pode ser facilmente estendido para outras cidades onde se identificam fortes erros sistemáticos na previsão do Modelo Eta. O esquema pode ser estendido para refinar outras variáveis bem comportadas desde que haja observações disponíveis.

### 2.2 Refinamento dinâmico

A etapa do refinamento dinâmico está sendo realizado a partir do Modelo Eta. Este modelo foi configurado na resolução horizontal de 5 km, no modo não-hidrostático, cobrindo grande parte da região Nordeste do Brasil. As intensidades dos ventos se aproximaram melhor das observações, entretanto, alguns erros se mantiveram.

### 2.3 Caracterização dos erros.

Numa etapa seguinte do trabalho as seguintes variáveis foram analisadas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e intensidade do vento e pressão atmosférica ao nível médio do mar. Dois conjuntos de dados foram utilizados:

1. Previsões: Valores do Modelo Eta do CPTEC/INPE na resolução de 5 km, previstas da integração iniciada às 0000 UTC.

2. Observações: A comparação horária utiliza observações de uma plataforma de observação posicionada na Praia do Marco em São Miguel do Gostoso (RN) a aproximadamente 40 m de altura, num local com altitude igual a zero, os dados foram capturas em regime horário durante o período de 08/10/2005 a 04/01/2006.

As previsões do Modelo Eta para o prazo de previsão de 48h e 72h foram comparadas com as observações horárias.

Para essa avaliação foi calculada a raiz do erro quadrático médio do erro das

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

previsões:

Onde  $P_i$  e  $O_i$  são, respectivamente, as previsões e as observações no tempo  $i$ .

Optou-se por utilizar-se todo o período de dados obtidos, com vistas a não especificar as correções de certo período e para melhor caracterizar o erro do ciclo diurno, foi tomada a média horária das variáveis e dos erros de previsão de cada variável.

Diante de séries temporais, relatou-se os seguintes erros:

1. A pressão ao nível médio do mar é sistematicamente superestimada principalmente no período de maior aquecimento.
2. A amplitude do ciclo diurno de temperatura prevista é menor que a observada e também que as diferenças entre os valores previstos com 48h e 72h de antecedência são quase nulas.
3. A magnitude do vento está, razoavelmente, sendo bem prevista durante o dia, mas subestimada durante a noite.

Como a umidade relativa do ar é uma variável que está fortemente correlacionada com a temperatura do ar, deve-se analisar se o erro da umidade relativa é um erro originado da umidade ou se o erro está na variável temperatura do ar.

#### 2.4 Aumento da frequência do cálculo da radiação de onda longa.

A partir da avaliação do ciclo diurno da temperatura e vento, notou-se que o ciclo das previsões destas variáveis apresenta um pequeno atraso em relação às observações. Procurou-se aumentar a frequência do cálculo da radiação de onda longa de 2 h para 1 h no modelo, e foram geradas integrações para verificar os impactos dessa modificação. As seguintes variáveis foram utilizadas para avaliação: temperatura a 2m, componentes zonal e meridional do vento, pressão à superfície, umidade específica à 2m e nebulosidade baixa.

Três conjuntos de dados foram utilizados:

1. Dados Observados
  - Observações horárias da localidade da Praia do Marco, em São Miguel do Gostoso, RN, no período de 17/12/2005 a 23/12/2005.
2. Integrações do Modelo Eta – previsões para 48 e 72h (resolução de 5 km, 38camadas e  $\Delta t = 10s$ ).
  - Condição inicial: 17/12/2005 – 00Z;
  - Com a frequência do cálculo da radiação de onda longa de 2h.
3. Integrações do Modelo Eta – previsões para 48 e 72h (resolução de 5 km, 38camadas e  $\Delta t = 10s$ ).
  - Condição inicial: 17/12/2005 – 00Z;
  - Com a frequência do cálculo da radiação de onda longa de 1h.

Foram realizadas comparações entre as duas rodadas do Modelo Eta a fim de verificar a resposta das variáveis meteorológicas para esta alteração. Em seguida, foi realizado o cálculo do RMSE entre cada rodada e o dado observado, para saber qual se manteve mais próximo do dado observado.

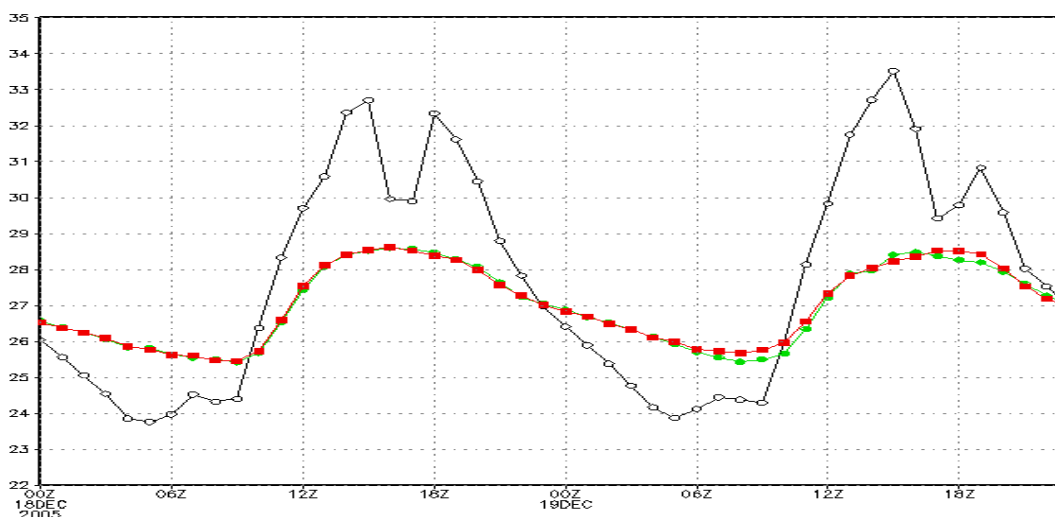
### 3. RESULTADOS.

Avaliação do Modelo após o aumento da frequência do cálculo da radiação de onda longa.

A Figura 1 mostra as séries de temperatura do ar a 2m, onde a curva em preto se refere ao dado observado na Praia do Marco, a curva em verde mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 2h e a curva em vermelho mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 1h. Com base neste gráfico notamos que o modelo não apresenta bem a amplitude térmica diária, além de não conseguir perceber variações de curta duração. A diferença entre as curvas vermelha e verde é muito pequena, sendo a diferença entre os valores da raiz quadrada do erro quadrático médio muito pequeno:

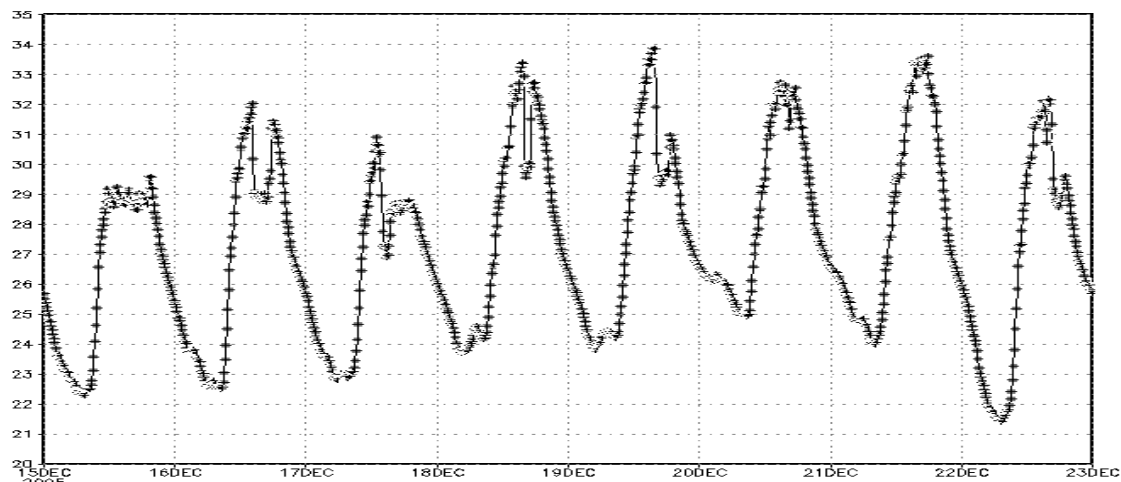
$$\text{RMSE Eta 2h} = 2,203$$

$$\text{RMSE Eta 1h} = 2,207$$

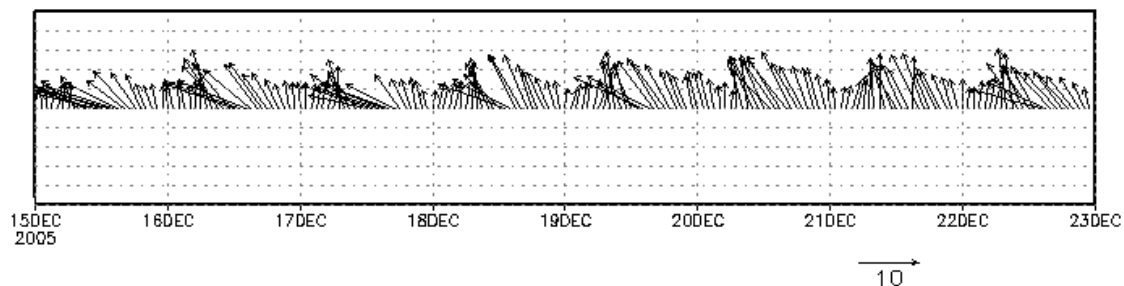


**Figura 1- Temperatura do ar a 2m (°C) na Praia do Marco (RN) entre as 00Z de 18/12/05 e as 23Z de 19/12/05: dado observado (preto), Eta 2h (verde) e Eta 1h (vermelho).**

Comparando o dado observado da temperatura a 2m para a localidade da Praia do Marco (Fig. 2) com a série temporal do vento (Fig. 3) para a mesma localização e mesmo período, percebe-se que em vários dias há ocorrência de queda na temperatura por volta de 10:00HL acompanhada de mudança na direção do vento. Tal fenômeno foi comum na região no período estudado, ou seja quando o vento girou de sul para leste, a temperatura sofreu declínio. A redução na temperatura é provocada pelo vento mais fresco e úmido proveniente do mar.

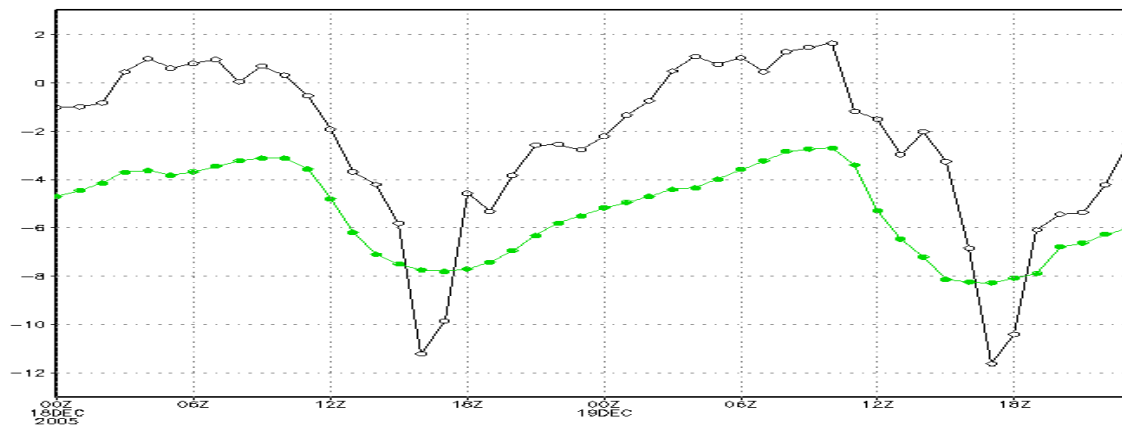


**Figura 2 – Série temporal da temperatura a 2m observada (°C) na Praia do Marco (RN) entre os dias 15/12/05 e 23/12/05.**

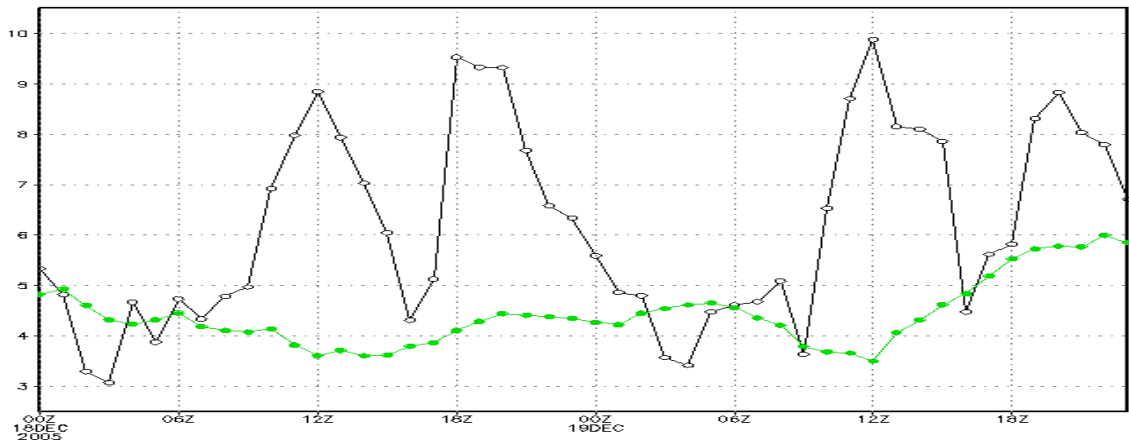


**Figura 3 – Série temporal do vetor vento (m/s) observado para a localidade da Praia do Marco (RN) entre os dias 15/12/05 e 23/12/05.**

As Figuras 4 e 5 mostram que o Modelo Eta subestima a amplitude do ciclo diurno tanto da componente zonal quanto da componente meridional do vento.



**Figura 4 - Componente u (zonal) do vento para a Praia do Marco (RN) entre as 00Z de 18/12/05 e as 23Z de 19/12/05: dado observado (preto) e Eta 1h (verde).**



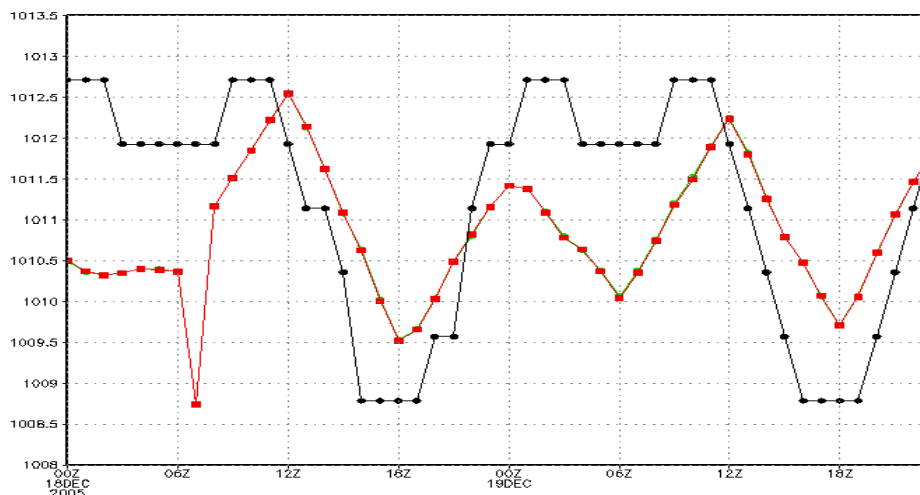
**Figura 5 - Componente v (meridional) do vento para a Praia do Marco (RN) entre as 00Z de 18/12/05 e as 23Z de 19/12/05: dado observado (preto) e Eta 1h (verde).**

A Figura 6 mostra as séries de pressão à superfície, onde a curva em preto se refere ao dado observado na Praia do Marco, a curva em verde mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 2h e a curva em vermelho mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 1h. Com base neste gráfico nota-se que o modelo subestima a amplitude do ciclo diurno da pressão à superfície e que a diferença entre as duas curvas do Eta é bem pequena, aproximadamente nula. Os valores da raiz quadrada do erro quadrático médio para as duas integrações são:

$$\text{RMSE Eta 2h} = 5,966$$

$$\text{RMSE Eta 1h} = 5,962$$



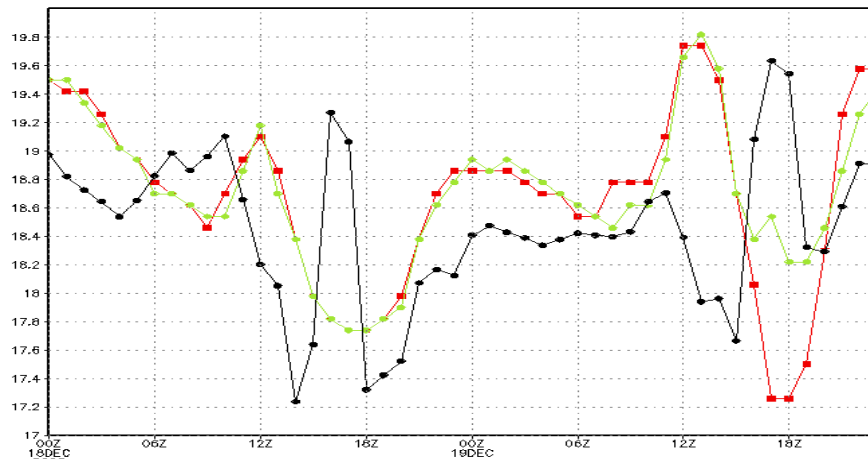


**Figura 6 – Série temporal de pressão à superfície (hPa) na Praia do Marco (RN) entre as 00Z de 18/12/05 e as 23Z de 19/12/05: dado observado (preto), Eta 2h (verde) e Eta 1h (vermelho).**

A Figura 7 apresenta as séries de umidade específica à 2m, onde a curva em preto se refere ao dado observado na Praia do Marco, a curva em verde mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 2h e a curva em vermelho mostra o dado referente ao Modelo Eta com o cálculo da radiação de onda longa sendo feito a cada 1h. Nota-se, a partir da Figura que o modelo não consegue perceber o aumento brusco que ocorre na umidade observada, por volta de 10 h local, quando o vento muda de direção, coincidente também com o declínio da temperatura do ar, citado anteriormente. Nota-se que a diferença entre as duas curvas (verde e vermelha) é pequena, porém a série de umidade específica à 2m é a que apresenta a maior diferença entre as rodadas do Modelo Eta. Os valores da raiz quadrada do erro quadrático médio são:

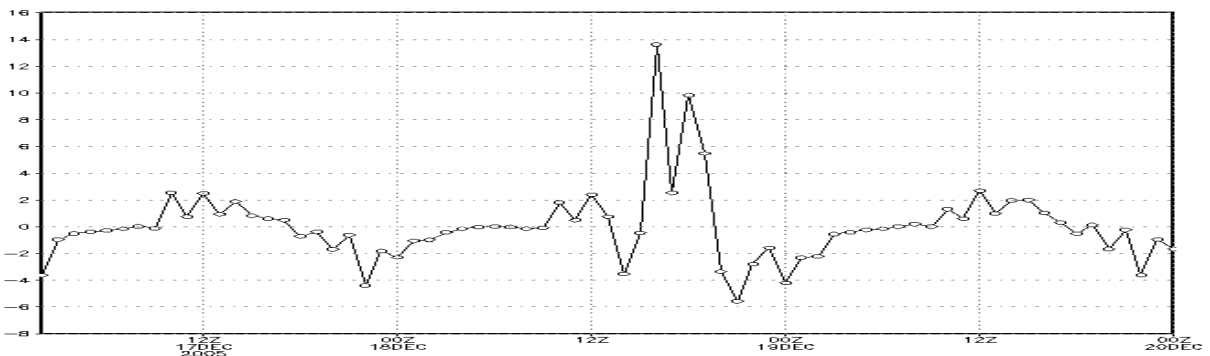
$$\text{RMSE Eta 2h} = 2,060$$

$$\text{RMSE Eta 1h} = 2,101$$



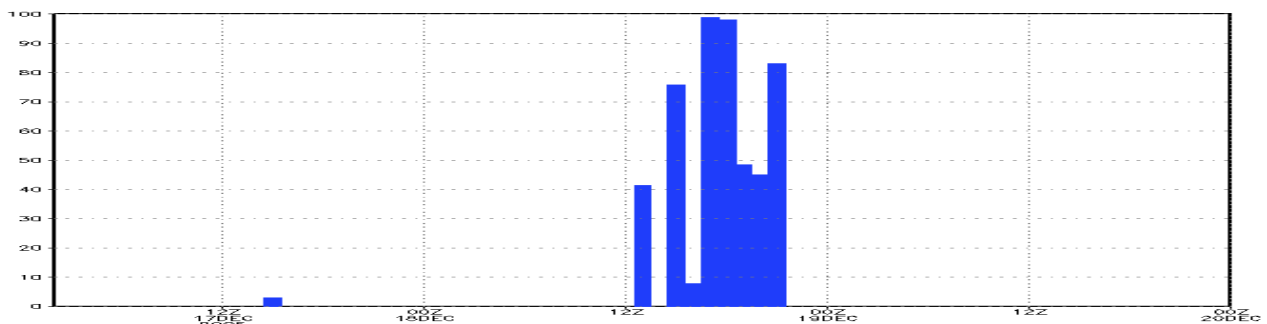
**Figura 7 – Série temporal de umidade específica à 2m (g/kg) na Praia do Marco (RN) entre as 00Z de 18/12/05 e as 23Z de 19/12/05: dado observado (preto), Eta 2h (verde) e Eta 1h (vermelho).**

Na Figura 8 apresenta-se a diferença entre a radiação de onda longa do Modelo Eta (Eta1 h – Eta2 h). A Figura 9 apresenta a nebulosidade baixa do modelo Eta 1h, que é muito próxima à quantidade produzida pelo modelo Eta 2h (não mostrado). A comparação entre as figuras 8 e 9 indica que a diferença entre os resultados da variável de radiação de onda longa entre o Modelo Eta 1h e o Modelo Eta 2h é próxima de zero, porém aumenta quando há ocorrência de nebulosidade baixa.



**Figura 8 – Diferença entre a radiação de onda longa (W/m2) do modelo Eta 1h e o modelo Eta 2h para a Praia do Marco (RN). Período de 14Z de 16/12/05 até 00Z de 20/12/05.**

#### Nebulosidade baixa (%)



**Figura 9- Porcentagem de cobertura de nebulosidade baixa na Praia do Marco (RN) no período de 14Z de 16/12/05 até 00Z de 20/12/05.**

## **4. CONCLUSÕES E ETAPAS FUTURAS**

### 4.1 Conclusões

Neste trabalho foi avaliada a performance do modelo Eta para prever a temperatura do ar e umidade específica à 2m, ventos à superfície, pressão atmosférica à superfície e radiação de onda longa próximo à localidade da Praia do Marco (RN). Dois experimentos foram realizados, um mantendo-se o cálculo da radiação de onda longa a cada 2 h, como usado rotineiramente no CPTEC/INPE e outro aumentando-se o cálculo da radiação de onda longa do modelo para 1 hora.

Os resultados indicaram que o modelo não representa bem a amplitude térmica diária observada, subestimando os máximos e superestimando os mínimos, além de não conseguir perceber variações de curta duração, tais como a redução na temperatura do ar que ocorre geralmente por volta de 10 h local, quando o vento passa a soprar de quadrante leste, proveniente do oceano. As intensidades das componentes zonal e meridional do vento também são subestimadas. O modelo é sensível aos aumentos e reduções da pressão atmosférica à superfície, contudo subestima a amplitude do ciclo diurno.

Com o aumento da frequência do cálculo da radiação de onda longa de 2h para 1h, o modelo apresentou mudanças muito pequenas em suas previsões, principalmente na ausência de nebulosidade.

### 4.2 Próximas etapas

Nas próximas etapas do trabalho o período de avaliação será estendido, de forma a obter um melhor resultado estatístico. Além disso, serão incluídos outros pontos de avaliação, além da Praia do Marco.

A representação da superfície será refinada com dados de maior resolução da topografia, vegetação e tipo de solo, pois no modelo Eta o local é caracterizado como vegetação de arbustos latifoliados com coberturas herbáceas, quando na realidade a Praia do Marco possui uma enseada com dunas móveis e uma marina natural formada por arrecifes, além de uma vegetação rasteira. Sendo assim, esta é uma fonte de erros do modelo.

## **5. BIBLIOGRAFIA**

Chou, S. C. 1996: Modelo Regional Eta. In Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos. Inpe, Cachoeira Paulista.

Mao, Q., R. T. McNider, S. F. Muellere, H.H. Juang, 1990: An Optimal Model Output Calibration Algorithm Suitable for Objective Temperature Forecasting.

Mesinger, F. Z. I. Janjic, S. Nickovic, D. Gavrilov, e D. G. Deaven, 1988: The step-mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. *Mon. Wea. Rev.* 126, 1493-1518.