

# ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS DAS PREVISÕES CLIMÁTICAS SAZONAIS DO MODELO ETA

RELATÓRIO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Período: abril 2019 – julho 2019

Igor Foti de Andrade (Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Bolsista  
PIBIC/CNPq)

E-mail: igor\_foti@live.com

Chou Sin Chan (CPTEC/DMD, Orientador)

E-mail: chou.sinchan@cptec.inpe.br

COLABORADOR

Prof. Dr. Michel Pompeu Tcheou  
(Universidade do Estado do Rio de Janeiro)

E-mail: mtcheou@uerj.br

Julho 2019

## *Sumário*

Listas de figuras e tabelas.....	3
Resumo.....	4
1 Introdução.....	4
2 Objetivo.....	5
3 Fundamentação teórica.....	5
3.1 Modelo Eta/INPE.....	5
3.2 MERGE.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.3 compatibilização entre os domínios do MERGE e do modelo Eta.....	6
3.4 Transformada discreta de cossenos.....	8
4 Materiais e Métodos Utilizados.....	9
5 Conclusão.....	10
Referências bibliográficas.....	11

## Listas de figuras e tabelas

Figura 1: Precipitação prevista sobre a América do Sul no dia 13 às 00:00h UTC – Modelo Eta. ....	7
Figura 2: Precipitação acumulada sobre a América do Sul no dia 13 do produto MERGE .....	8

## Resumo

O modelo Eta/INPE é um modelo atmosférico, estado da arte baseado em equações de conservação de massa, energia e momentum e é utilizado para obter dados atmosféricos através de previsões. Alguns dos processos atmosféricos representados pelo modelo incluem a precipitação, turbulência atmosférica, os processos de transferência radiativa na atmosfera pelas ondas curtas e longas, os fenômenos de interação entre a atmosfera-vegetação-solo, interação entre atmosfera e oceano, temperatura etc. O modelo é utilizado pelo CPTEC para obter-se diferentes previsões meteorológicas em diversos intervalos de tempo com diferentes resoluções. Todavia, os modelos numéricos de previsão possuem erros de viés sistemáticos e podem se destoar do estado real da atmosfera. Com isso, há interferência no tempo de integração e há a geração de erros. O objetivo deste trabalho é comparar os dados observacionais de precipitação com as previsões do modelo Eta sobre a América do Sul durante o período da estação de Inverno por uma análise estatística. O intuito de fazer a comparação dos resultados é para que futuramente seja feito um arcabouço de correção de viés sistemático das previsões tratando os dados no domínio da frequência, através da transformada de cossenos bidimensional.

## 1 Introdução

O modelo Eta/INPE é um modelo atmosférico, estado da arte baseado em equações de conservação de massa, energia e momentum. Sua finalidade é complementar a previsão com um modelo numérico do tempo junto ao modelo de circulação geral atmosférica. O modelo Eta representa os principais processos atmosféricos que incluem a geração de nuvens e chuva, a turbulência atmosférica, os processos de transferência radiativa na atmosfera pelas ondas curtas e longas, os processos de interação entre a atmosfera-vegetação-solo e interação entre atmosfera e oceano etc. Previsões do modelo são feitas para um horizonte sazonal, gerado mensalmente com uma resolução de 40 km.

Os dados provenientes de modelos atmosféricos são volumétricos, contendo informações de latitude, longitude e altura. As variáveis de interesse do modelo são geradas para um horizonte de tempo, ou seja, para um determinado intervalo de tempo, como, por exemplo, meses, estações climáticas etc. Além disso, os dados são gerados em formas de amostras, em intervalos de tempo constantes entre elas, como, por exemplo, a cada 6 horas. Com isso, temos um conjunto de amostras discretas que podem ser analisadas e comparadas com os dados observados. Geralmente, os dados observados referentes ao estado real da atmosfera apresentam discrepâncias com os dados gerados pela modelagem numérica, fazendo com que haja uma consequência negativa no tempo de integração, resultando em erros. Esses erros podem ser originados tanto pelas aproximações físicas levadas em conta no modelo físico quanto por erros nas condições iniciais. Este último resulta em uma propagação do erro com

as operações relacionadas ao tempo de integração do modelo, devido a não-linearidade de suas equações. Com isso, torna-se necessário fazer uma análise da diferença entre os dados observados e os dados previstos pelo modelo Eta.

Os dados observacionais de precipitação serão obtidos através do produto MERGE. Este produto é a combinação precipitação observada com a estimativa de precipitação por satélite oriunda do *Global Precipitation Measurement* (GPM). Essa combinação é necessária devido ao diferente uso de métodos espaciais entre os modelos matemáticos e a observação superficial. Um exemplo dessa discrepância pode ser o uso de medidas pontuais em um, enquanto o outro obtém uma média em uma determinada área, tornando os valores dissonantes entre si, dificultando algum tipo de comparação sem tratamento prévio.

Neste trabalho, serão comparados os dados obtidos pelo modelo Eta com dados observacionais do mesmo período, e a variável de interesse a ser analisada é a precipitação. Será utilizado o ambiente MATLAB para o tratamento necessário dos dados previstos e observados, que serão obtidos através do modelo Eta/INPE e MERGE disponibilizado pelo CPTEC/INPE, respectivamente.

## 2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é realizar uma comparação entre os dados de precipitação diária previstos pelo modelo Eta/INPE e os dados provenientes do produto MERGE, sobre a América do Sul. Para isso, é necessário adequar suas resoluções temporais e espaciais, pois ambas são diferentes. O período analisado foi o Inverno de 2001 a 2010, considerando o intervalo de tempo iniciado nos dias 13, 14, 15, 16, 17 de julho e terminado no dia 30 de novembro para a análise. Com isso, será possível pavimentar o caminho para que futuramente seja feito um arcabouço de correção de viés das previsões de precipitação no domínio da frequência. Uma melhora na previsão da precipitação, em geral, permite que diferentes entidades antecipem quadros futuros no tempo e adequem melhor suas atividades e logísticas de acordo com a sua necessidade, como, por exemplo, no setor agropecuário. Além disso, a possibilidade de prever extremos climáticos, que impactam diretamente a vida de milhões de pessoas, permite medidas preventivas de acordo.

## 3 Fundamentação teórica

### 3.1 Modelo Eta/INPE

O modelo Eta é capaz de fazer previsões através de um modelo matemático sobre uma determinada área com um horizonte de tempo pré-definido, acerca da variável de precipitação. Os dados Provenientes de modelos atmosféricos são

volumétricos, ou seja, são representados em função de latitude, longitude e altitude, sendo indispensável a delimitação da área que será processada. Como a precipitação é uma variável que não depende da altura, o processo pode ser considerado bidimensional, tendo apenas influência da latitude e longitude.

Neste trabalho, o modelo Eta utilizado apresenta uma resolução espacial de 40km, tendo as coordenadas iniciais de latitude e longitude 58º Sul e 115º Oeste, e coordenadas finais 29,6º Norte e 5,4º Oeste, respectivamente, delimitando a área de interesse de suas medições, no caso, a América do Sul, com uma resolução espacial de 40km. Além disso, foi utilizado um período temporal iniciado nos dias 13, 14, 15, 16 e 17 do mês de julho se estendendo até o dia 30 de novembro, representando a estação de inverno do hemisfério inferior do planeta. As previsões foram feitas em relação aos anos 2001 a 2010. As previsões obtidas têm um intervalo de medição de 6 horas, e iniciam-se às 00:00 horas de cada dia, tendo medições às 00:00, 06:00, 12:00 e 18:00

UTC. Portanto, são obtidos 4 dados diários, que serão somados para a obtenção da precipitação acumulada da chuva ao longo de cada dia. Vale lembrar que é necessária uma adequação entre os dados do MERGE e do Eta para que haja uma comparação correta entre as duas, que será discutida mais adiante.

### **3.2 MERGE**

O produto MERGE será utilizado como dado observacional para fazer a apuração dos dados previstos pelo modelo Eta. O produto MERGE combina a precipitação observada com a precipitação prevista por um grupo de satélites relacionados ao GPM. As medições do MERGE são diárias e apresentam o mesmo horizonte de tempo que as previsões do modelo Eta, ou seja, durante o período de inverno do hemisfério sul, e foram obtidas durante os dias 13, 14, 15, 16, 17 dos meses de julho nos anos 2001 a 2010. O intervalo de tempo entre as medições foi diário, já sendo considerada a precipitação acumulada daquele dia. Já a sua área analisada é menor que a área do modelo Eta, se estendendo de 50,2º Sul e 82,8º Oeste à 12,2º Norte e 34º Oeste de latitude e longitude, respectivamente. Sua resolução espacial é de 20km. É possível evidenciar que, apesar de ambas as medições MERGE e Eta estarem sobre uma parte da América do Sul, ambos cobrem regiões diferentes com resoluções diferentes. Além disso, a resolução temporal também não é a mesma, necessitando assim de um tratamento de ambos os dados para que seja feita uma comparação entre os dois.

### **3.3 Compatibilização entre os domínios do MERGE e do modelo Eta**

Como os dados observacionais produtos do MERGE e os dados provenientes da previsão pelo modelo matemático Eta apresentam parâmetros diferentes, é necessário normalizar todos eles para que seja possível fazer uma comparação entre eles, para ser feita uma apuração da previsão.

A primeira categoria a ser analisada é a resolução temporal. Enquanto os dados do Eta são obtidos 4 vezes por dia, os dados do MERGE são diários. Para torná-los equivalentes, podemos somar os valores das 4 medições diárias do modelo Eta. Com

isso, será possível obter a precipitação acumulada de cada um desses dias, podendo compará-los diretamente com as precipitações observadas se considerarmos apenas as diferenças temporais.

A segunda categoria a ser analisada é a resolução espacial, que pode ser dividida em duas partes. Os dados apresentam diferenças tanto nas áreas nas quais os dados são baseados quanto na diferença da resolução de cada um. Com resoluções diferentes, os resultados de cada método terão dimensões diferentes do outro.

É evidente que os limites de longitude e latitude de ambos são diferentes. Isso por si só já faz com que os dados não sejam compatíveis. Para que haja uma compatibilidade, podemos analisar apenas a região de interseção entre os dois gráficos.

Como a área processada no produto MERGE é menor que a área prevista pelo modelo Eta, conseguimos facilmente observar que todo o seu limite geográfico está dentro da área delimitada pelo modelo Eta. Com isso, a área de interseção entre os dois conjuntos de dados é a própria área relacionada ao MERGE. Portanto, para fazer uma normalização dos dados em relação a área de cobertura, basta apenas passar-se a observar a área do modelo Eta relativa à área do MERGE, não sendo necessário fazer nenhuma mudança no produto MERGE em relação a isso.

Ao compararmos as áreas da Figura 1 e Figura 2, podemos facilmente perceber que a área das previsões do modelo Eta engloba toda a área dos dados do MERGE. Ambos os gráficos representam a precipitação sobre a América do Sul no dia 13 de julho de 2001. Na Figura 1, está representada a chuva referente à hora 00:00 UTC do modelo Eta, enquanto a Figura 2 demonstra os dados observacionais do produto MERGE referente à precipitação acumulada no mesmo dia. Note que a coloração de cada ponto do gráfico representa uma intensidade de precipitação.

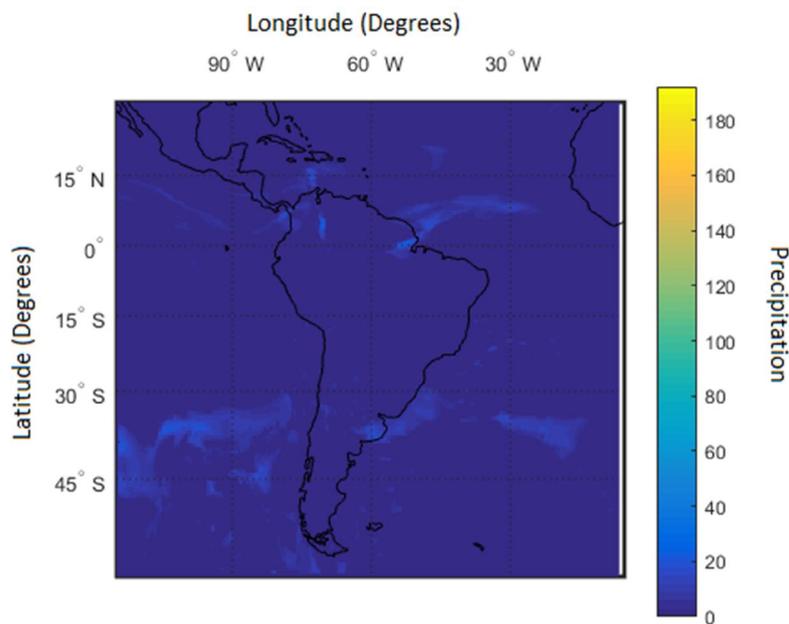


Figura 1 – Precipitação prevista sobre a América do Sul no dia 13 às 00:00h UTC – Modelo Eta

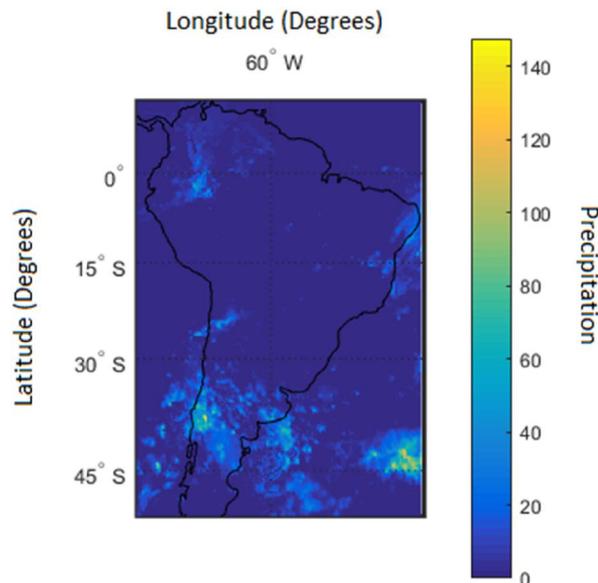


Figura 2 – Precipitação acumulada sobre a América do Sul no dia 13 do produto MERGE

Além de fazer com que as áreas sejam equivalentes, também é necessário que as resoluções da grade também estejam iguais, visto que o modelo Eta e o MERGE possuem resoluções de 40km e 20km, respectivamente. Para que seja feito o casamento entre os dois, é necessário realizar uma interpolação bidimensional. Com isso, os pontos de medição de cada método passarão a ser os mesmos, tornando-se assim as duas amostras prontas para serem comparadas e analisadas.

O tratamento e comparação desses dados é importante para que posteriormente seja possível realizar uma Transformada Discreta de Cossenos Bidimensional, com a finalidade de tratar os dados no domínio na frequência para reduzir o viés sistemático através de parâmetros estatísticos.

### 3.4 Transformada Discreta de cossenos (DCT)

Como etapa futura deste trabalho, podemos realizar a correção de viés sistemático através de uma correção estatística espectral no domínio da frequência. A vantagem de trabalhar-se nesse domínio é que sua análise se torna livre de períodos pré-definidos de tempo, servindo para qualquer escala desejada. Ademais, a correção espectral é mais precisa para longos períodos e para extremos climáticos, como secas, inundações etc.

A DCT se caracteriza por ser um caso especial da transformada de Fourier, onde a função a ser transformada é uma função par, e os dados são obtidos em forma de

amostras discretas no tempo, como as medições climáticas dos modelos de previsão do clima.

Como nossos dados são bidimensionais, é necessário também utilizar uma versão bidimensional desta técnica para assegurar sua aplicação ao trabalhar com matrizes. A fórmula dessa transformada para uma matriz  $p$  de tamanho  $n \times n$  é:

$$G_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2n}} C_i C_j \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} p_{xy} \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2n}\right), \text{ para } 0 \leq i, j \leq n-1$$

$$\text{onde } C_f = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{n}}, & f = 0 \\ \sqrt{2/n}, & f > 0 \end{cases}$$

E a recuperação dos dados transformados podem ser obtidas através da transformada inversa:

$$p_{xy} = \frac{1}{4} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} C_i C_j G_{ij} \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2n}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2n}\right)$$

Neste método, a transformada bidimensional resulta em uma matriz, onde os coeficientes mais significativos se aglomeram na origem da matriz.

Todavia, é interessante obter um resultado em forma de vetor, para poder então manipulá-los de forma estatística e poder compará-los com dados observacionais para realizar a correção de viés e finalmente verificar a eficácia desse método de correção comparando-o com outros.

Para alcançar tal objetivo, foi escolhido o método de escaneamento de matriz em Zigzag, pois este é capaz de tratar um dado em forma de matriz e ter como saída um vetor. Uma de suas grandes vantagens é o fato de que a DCT bidimensional armazena a grande maioria da energia nos componentes de baixa frequência da matriz. Portanto, quando a matriz é escaneada em zigzag, ou seja, indo de componentes de baixa para componentes de alta frequência em movimento de serpentina, os dados são melhor coletados por dar mais importância para as baixas frequências. Por ser uma distribuição bidimensional, um avanço em qualquer direção resulta em um aumento da frequência, e, conseqüentemente, um avanço para uma zona com menos energia armazenada. Ao movimentar-se em serpentina, todas as zonas de baixa frequência são processadas antes das zonas de alta frequência, resultando em uma boa otimização da leitura do conteúdo transformado pela DCT. Desta forma, as frequências com grande quantidade de dados são lidas antes, seguido de uma grande quantidade de componentes com valores que tendem a zero.

## 4 Materiais e Métodos Utilizados

A metodologia empregada neste trabalho é composta pelas seguintes etapas:

1. Inicialmente, realiza-se o carregamento dos dados para o MATLAB e soma-se os valores das previsões do modelo Eta de 4 em 4 amostras, para garantir que serão geradas amostras diárias com precipitação acumulada, similar aos dados do MERGE.
2. Em seguida, a área da previsão do modelo Eta é limitada aos limites da área dos dados provenientes do MERGE
3. Posteriormente, é feita uma interpolação bidimensional com a finalidade de alinhar as resoluções das grades dos dados de previsão com os dados observáveis.
4. Por fim, os dados são tratados de forma estatística e comparados para que haja o reconhecimento e a análise dos erros devido ao viés sistemático.

## 5 Conclusão

A correção de viés através de uma análise no domínio da frequência apresenta grande potencial para otimizar as previsões climáticas e já se mostrou mais eficaz que outros métodos de correção para longos prazos e extremos, como o NEST, e são de suma importância para diversos segmentos econômicos e científicos, além de auxiliar a tomada de decisões perante possíveis extremos climáticos, como secas e enchentes, que podem causar danos catastróficos tanto à sociedade quanto ao ambiente. A correção dos erros devidos ao viés sistemático é uma grande oportunidade para a otimização de previsões climáticas de diversas categorias, como precipitação, temperatura etc.

## Referências bibliográficas

1. Bustamante, J. ; Chou, S.C. ; Rozante, J.R. ; Gomes, J.L., 2005. Uma Avaliação da Previsibilidade de Tempo do Modelo Eta para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia, Brasil*, v. 20, n. 1, p. 59-70.
2. Cataldi, M. ; Osorio, C. ; Guilhon, L.G. ; Chou, S.C. ; Gomes, J.L. ; Bustamante, J., 2007. Análise das previsões de precipitação obtidas com a utilização do modelo Eta como insumo para modelos de previsão semanal de vazão natural. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*.
3. Chou, S.C., Marengo, J.A., Dereczynski, C.P., Waldheim, P., Manzi, A.O., 2007. Comparison of CPTec GCM and Eta Model results with observational data from the Rondonia LBA reference site, Brazil. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, vol. 85A, pp25-42.
4. Chou, S.C. , 1996. Modelo Regional Eta. *Climanálise (São José dos Campos), Cachoeira Paulista, SP*, v. 1, n. ED ESPECIAL, 1996.
5. Chou, S. C. ; Bustamante, J. ; Gomes, J. L., 2005. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. *Nonlinear Processes in Geophysics, Alemanha*, v. 12, p. 537-555.
6. Dereczynski, C.P.; Pisto, MVJ; Chou, SC; Cavalcanti, IFA; Rozante, JR., 2010. Avaliação das Previsões do Modelo Eta na região da Serra do Mar (Estado de São Paulo), Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, RJ*, ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 33 - 2.
7. Mesinger F, Chou SC, Gomes JL, Jovic D, Bastos P, Bustamante JF, Lazic L, Lyra AA, Morelli S, Ristic I, Veljovic K., 2012. An upgraded version of the Eta model. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 116 (3), 63-79.
8. Pilotto ID, Chou SC, Nobre P., 2012. Seasonal climate hindcasts with Eta model nested in CPTec coupled ocean-atmosphere general circulation model. *Theoretical and Applied Climatology*.
9. Laprise et al 2008. Challenging some tenets of Regional Climate Modelling. *Meteorol Atmos Phys* 100, 3–22.
10. Castro CL, Pielke RA Sr, Leoncini G, 2005. Dynamical downscaling: an assessment of value added using a regional climate model. *J Geophys Res (Atmos)* 110: D05108; DOI: 10.1029/2004JD004721
11. Saha et al., 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of American Meteorological Society*. 1015-1057.
12. Han, J., Kamber, M. & Pei, J. *Data mining concepts and techniques, third edition Morgan Kaufmann Publishers, 2012*
13. Rozante et. Al.; Rozante, J. R.; Moreira, D. S.; Gonçalves, L. G; Vila, D. A.; 2010: Combining TRMM and Surface Observations precipitation: Technique and Validation over South America. P.885-894. Available at: [http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/rozante\\_et.al.2010.pdf](http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/rozante_et.al.2010.pdf)
14. Rozante, J. R.: Produto de precipitação MERGE. Available online at: [http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/read\\_me\\_MERGE.pdf](http://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/read_me_MERGE.pdf)
15. Chou, S. C.: Modelo Regional Eta. Available online at: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>
16. Pinto, L. F. G.: Filtragem adaptativa no domínio da frequência aplicada à redução de erros de previsão climática. Available online at: [http://www.pel.uerj.br/bancodissertacoes/Dissertacao\\_Leandro\\_Gentile\\_Pinto.pdf](http://www.pel.uerj.br/bancodissertacoes/Dissertacao_Leandro_Gentile_Pinto.pdf)