

**UMA BREVE DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO CLIMÁTICA REGIONALIZADA  
(DOWNSCALING DINÂMICO) IMPLANTADO NA FUNCEME.**

David Ferran Moncunill<sup>1</sup>  
Emerson Mariano da Silva<sup>1</sup>  
Vicente de Paula Silva Filho<sup>1</sup>  
Wagner Luís Barbosa Melciades<sup>1</sup>  
Alexandre Araújo Costa<sup>2</sup>  
Liqiang Sun<sup>3</sup>  
Antônio Divino Moura<sup>3</sup>  
Paulo Nobre<sup>4</sup>

1.Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

2.Universidade Estadual do Ceará

3.International Research Institute for Climate Prediction

4.Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

**ABSTRACT**

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) and IRI (International Research Institute for Climate Prediction) developed a dynamical climate downscaling prediction system over Northeast Brazil, having the NCEP regional spectral model (RSM) and ECHAM atmospheric general circulation model (AGCM) as its core. Sea surface temperature forecasts are produced first, and then used as lower boundary condition forcing for the RSM - ECHAM4.5 AGCM nested system.

A number of simulations were performed to obtain the best combination of horizontal resolution and domain size for the RSM. Then, an ensemble of ten runs of the RSM - ECHAM4.5 AGCM nested system was carried out for the period of 1971-2000, using observed SSTs as boundary forcing. Skill estimates obtained from this sort of hindcasting are considered as upper limit of forecast skills. A number of statistical tools were used to correct for systematic and conditional biases in the post-processing of model forecasts. Results of seasonal climate forecasts for February-May 2002 are presented.

**INTRODUÇÃO**

A região do Nordeste do Brasil (NEB) tem no passado uma história de secas que afetam de forma drástica sua população rural (Magalhães e Glantz, 1992). Essas secas estão associadas às características climáticas da região, que possui grande variabilidade espacial e temporal na distribuição de chuvas, bem como a concentração de mais de 80% do total anual de precipitação ocorrendo num período de quatro meses. Daí, é de grande importância a construção de um sistema de previsão climática adequado e a utilização correta da informação gerada.

Devido à natureza não-linear das equações que regem sua dinâmica, a atmosfera é fundamentalmente caótica. Diferenças infinitesimalmente pequenas no estado inicial da atmosfera crescem até atingir as dimensões da variância observada do tempo em um período de 10 a 14 dias. Por esse motivo, é teoricamente impossível prever a exata localização e momento de ocorrência de eventos de tempo. Na prática, dado as limitações no conhecimento das observações, nos modelos de previsão e na limitada capacidade computacional, a habilidade de se prever deterministicamente a evolução dinâmica do fluido atmosférico é, via de regra, ainda mais limitada.

Não obstante, o comportamento médio do tempo, isto é, o clima, responde à intervenção de forçantes cujas variações têm escala temporal tipicamente superior ao limite de previsibilidade de eventos individuais acima referido. Dentre as principais condições de fronteira para o clima destacam-se a radiação solar incidente, mudanças na cobertura vegetal e mudanças no campo de temperatura da superfície do mar (TSM). Vale ressaltar que a circulação atmosférica sobre os trópicos é particularmente sensível a flutuações na TSM (Lindzen e Nigam, 1987). Uma vez que a escala de tempo associada a anomalias de TSM é da ordem de vários meses ou mais, isto proporciona um certo grau de previsibilidade às anomalias climáticas correspondentes, pelo menos a nível sazonal.

Particularmente num contexto de mudança climática global, ferramentas como modelos numéricos, em que os processos físicos envolvendo a circulação atmosférica e seus forçantes são representados explicitamente, tendem a ser

vantajosos diante de ferramentas do tipo estatístico/estocástico. Assim, modelos de circulação geral da atmosfera (MCGs), que têm experimentado significativa evolução nas últimas décadas, mostram-se capazes de prever, com relativa acurácia, anomalias climáticas de grande escala (Stern e Miyakoda 1995).

Uma das limitações mais óbvias dos MCGs, no entanto, especialmente quando usados em estudos e previsões climáticas, é a sua baixa resolução espacial. Uma vez que MCGs possuem um espaçamento de grade da ordem de centenas de quilômetros, a variabilidade atmosférica associada a forçantes locais (topografia, presença de espelhos d'água, cobertura vegetal heterogênea, etc.) é comumente não é bem representada. Estes efeitos, via de regra, só podem ser representados por meio de modelos atmosféricos de mesoescala (vide, por exemplo, Pielke et al. 1992, Juang e Kanamitsu 1994). Tais modelos possuem, tipicamente, resolução espacial da ordem de dezenas de quilômetros. Com isso, são capazes de simular circulações forçadas por topografia, sistemas de brisa marítima e terrestre, circulações de vale-montanha, etc. Como o seu custo computacional é relativamente elevado, os mesmos são comumente executados em domínios de área limitada. Ao invés de simularem a evolução do fluido atmosférico na escala planetária, os modelos de mesoescala precisam ser alimentados por observações de grande escala e/ou dados de modelos globais.

Sob esta óptica, modelos atmosféricos de mesoescala se constituem numa ferramenta útil para fins de previsão climática regional, possibilitando o detalhamento das previsões obtidas por intermédio de MCGs (Small et al. 1999), neles 'aninhados'. Esta técnica combina a habilidade dos MCGs em prever o comportamento estatístico da atmosfera em resposta a um forçante de grande escala com a capacidade dos modelos de mesoescala em simular a ocorrência de circulações locais. Desta maneira, a aplicação da técnica de "downscaling" (ou ampliação da resolução) torna-se uma ferramenta importante para o usuário poder utilizar a previsão climática em um nível temporal e escala espacial mais compatível com o seu processo de tomada de decisão.

## **METODOLOGIA e PRODUTOS**

A técnica do "downscaling dinâmico" consiste no aninhamento de um modelo regional atmosférico a um MCG, sendo o regional forçado unidirecionalmente em todo o domínio (e.g., Nobre et al. 2001) pelas informações geradas pelo MCG. O projeto é uma parceria entre a FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e o IRI (International Institute Research for Climate Prediction). O modelo regional utilizado é o Modelo Regional Espectral (MRE) do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) descrito por Juang e Kanamitsu (1994, 1997).

Nas previsões numéricas o modelo regional é integrado em uma grade de 60 x 60 km, o que implica na ampliação de 25 vezes na resolução espacial dos resultados (isto é, no lugar de um 'pixel' de 300 x 300 km tem-se 25 'pixels' de 60 x 60 km cada), comparativamente ao que é obtido através do modelo global. A diminuição do espaçamento de grade também implica numa melhor previsão da Zona de Convergência Intertropical (Nobre et al. 2001), bem como, na definição dos processos físicos, já que o downscaling incorpora melhor os efeitos da topografia, vegetação, contrastes entre continente e oceano e outros. A configuração do MRE para previsão numérica foi determinada depois de uma série de simulações- testes, realizadas com o objetivo de se determinar o melhor tamanho de grade, domínio, tipo de solo, passo de tempo, vegetação, percentual de cobertura de vegetação, etc. como função dos recursos computacionais, e da avaliação subjectiva da previsibilidade da anomalia de precipitação em anos extremos.

O domínio, determinado a partir destes testes, abrange a área entre as latitudes de 21° S e 16° N, e as longitudes de 56° W a 2° E. Nas simulações foram utilizados 18 níveis verticais. A vegetação considerada foi a do tipo savana, com 70% de cobertura da superfície. A umidade do solo e temperatura foram inicializadas pelo MCG.

O MGC utilizado para alimentar o MRE é o ECHAM4.5 do Max Planck Institute for Meteorology. Uma descrição detalhada do mesmo pode ser encontrada em Roeckner et al. (1996).

Para verificar a habilidade desse método em reproduzir os aspectos característicos regionalizados do clima na região do NEB e obter a climatologia do modelo, foi utilizada a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) observada como condição forçante para a integração do ECHAM4.5-MRE no período de 1971 a 2000. Foram calculados os índices de correlação entre a anomalia de precipitação observada e a simulada. Os índices de correlação obtidos são similares aos obtidos pelos MCGs para a região e são considerados como limite superior da previsão regionalizada, dado que foram calculados a partir de TSMs observadas. Na Figura 1, mostra-se a distribuição espacial dos coeficientes de correlação entre a anomalia da precipitação simulada e a observada, onde a anomalia é o desvio da climatologia.

ECHAM4.5 - RSM97  
Anomalia de precipitação: 1971-2000 MAR-MAIO  
Correlação de anomalia

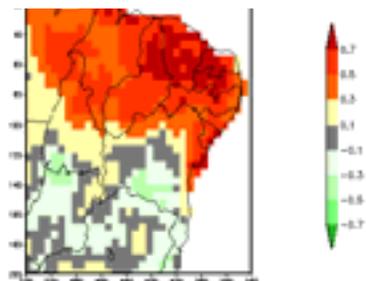


Figura 1 - Correlação entre as anomalias de precipitação simuladas e observadas para o período de março a maio de 1971 a 2000.

Para realizar a previsão, o MRE utilizou-se de 10 membros do ECHAM4.5 (processados no IRI), com dois cenários de Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Para cada conjunto (10 membros) de um dos cenários de TSM, a única diferença entre cada rodada individual é a condição inicial da atmosfera no momento de iniciar a simulação.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são mostrados três dos produtos de previsão gerados pelo modelo para o período de março a maio de 2002, realizada em fevereiro de 2002. A figura 2 mostra a previsão do percentual da climatologia da precipitação do modelo. As áreas em cinza mostram onde o modelo não teve habilidade em realizar a previsão, considerando que o coeficiente de correlação foi menor que 0,3 na simulação "histórica".

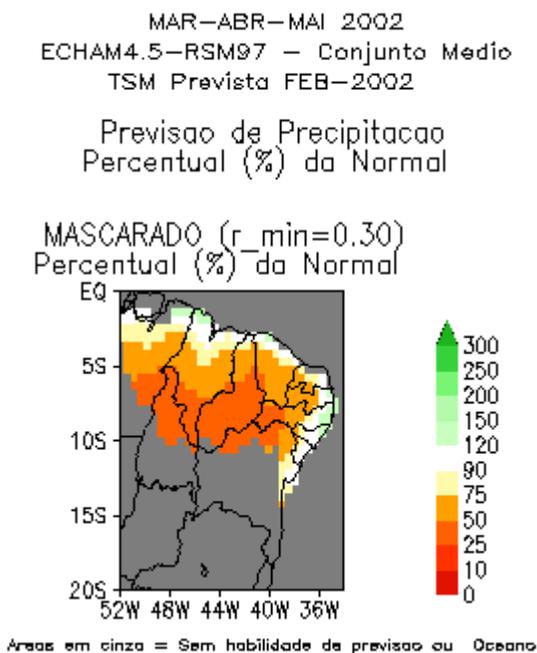


Figura 2 - Previsão da distribuição do percentual da climatologia da precipitação (com máscara estatística) para os meses de março a maio de 2002, com TSM prevista a partir do mês de fevereiro de 2002.

As anomalias da precipitação observadas e simuladas (1971 a 2000), para cada membro e para a média dos membros foram classificadas em 3 categorias em cada ponto de grade, sendo considerado que 1/3 dos anos mais chuvosos foi categorizada como "Acima do Normal"; o 1/3 dos anos mais secos como "Abaixo do Normal" e o 1/3 dos anos restantes como "Próximo da Normal". Posteriormente foram construídas tabelas de contingência, as quais relacionam a categoria simulada com a observada e permitem avaliar o desempenho da simulação histórica.

Na figura 3, observam-se quatro mapas relacionados com a previsão de probabilidade por categorias de anomalia da precipitação no período de março a maio de 2002. Para cada uma das três categorias é mostrado o mapa com a probabilidade de ocorrência "histórica", gerado a partir da anomalia de precipitação média dos membros (conjunto médio) simulados com condições iniciais de janeiro de 2002 e a respectiva tabela de contingência. O quarto mapa mostra a "previsão reconstruída" seguindo os critérios dados na Tabela 1.

Tabela 1- Definição das categorias da previsão reconstruída. As condições são obtidas dos percentuais mostrados nos mapas de probabilidade de ocorrência de cada categoria (tabela de contingência).

Condições	Categoria
Acima da normal > 50 %	Acima da normal (A)
Próximo da normal > 50 %	próximo a Normal (N)
Abaixo da normal > 50 %	aBaixo da normal (B)
Abaixo da normal > Acima da normal e acima da normal < 30 %	Não Acima da normal (NA)
Acima do normal > abaixo da normal e abaixo da normal < 30 %	Não aBaixo da normal (NB)
Nenhuma das condições acima	Sem habilidade de previsão

A figura 4 é similar a figura anterior, entretanto utiliza-se a anomalia de precipitação de cada membro simulado (conjunto espalhado) com sua respectiva tabela de contingência e calcula-se a média dos valores obtidos da tabela de contingência.

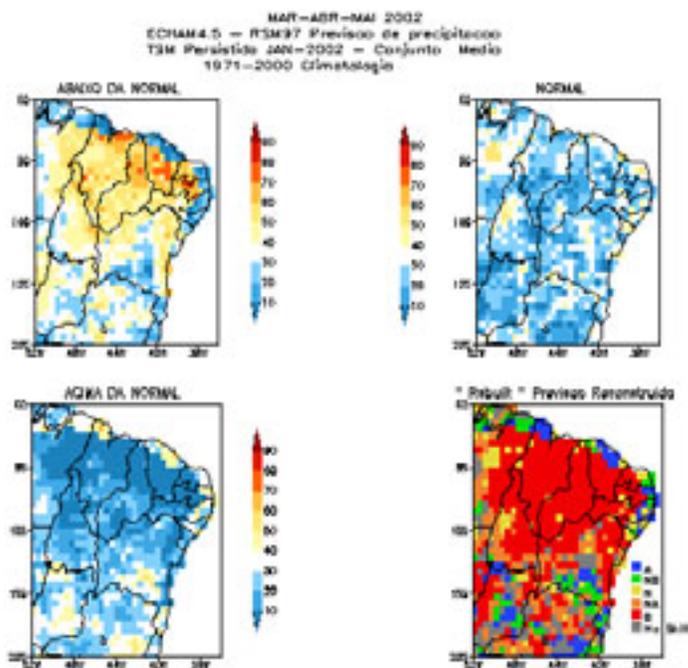


Figura 3 - Previsão da probabilidade da categoria de precipitação baseada no conjunto médio dos membros. Mapa "Abaixo da Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria A. Mapa "Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria N: Mapa "Acima da Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria A, Mapa "Rebuilt Previsão reconstruída": Categoria prevista de acordo com os critérios da tabela 1: onde azul é categoria A, verde NB, amarelo N, laranja NA, vermelho B, e cinza indica que o modelo não teve habilidade.

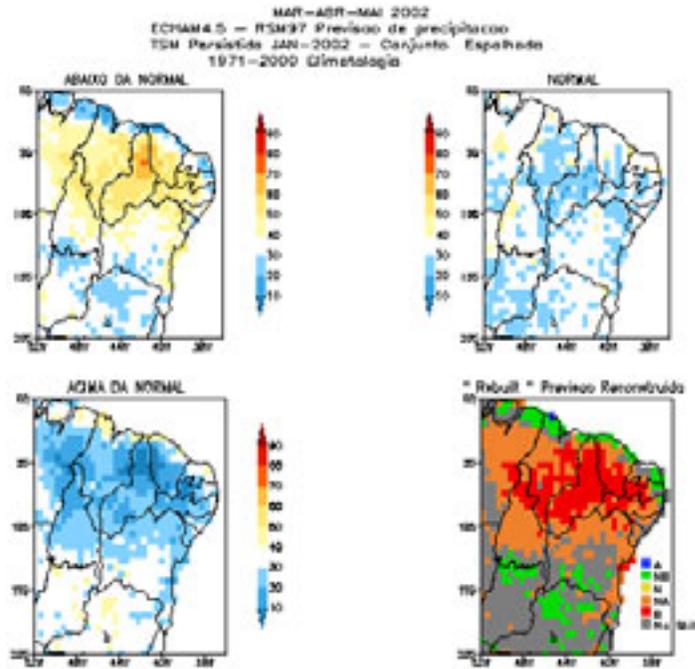


Figura 4 - Previsão da probabilidade da categoria de precipitação baseada no conjunto espalhado dos membros. Mapa "Abaixo da Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria A. Mapa "Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria N. Mapa "Acima da Normal": probabilidade percentual de ocorrer na categoria A. Mapa "Rebuilt Previsão reconstruída": Categoria prevista de acordo com os critérios da tabela 1: onde azul é categoria A, verde NB, amarelo N, laranja NA, vermelho B, e cinza indica que o modelo não teve habilidade.

A figura 5 mostra a previsão de probabilidade de precipitação para os meses de março a maio de 2002, realizada em fevereiro de 2002, por categorias de ocorrência, com alguns comentários logo após a figura. Esta figura é parte do resultado da interpretação dos produtos gerados pelo modelo.

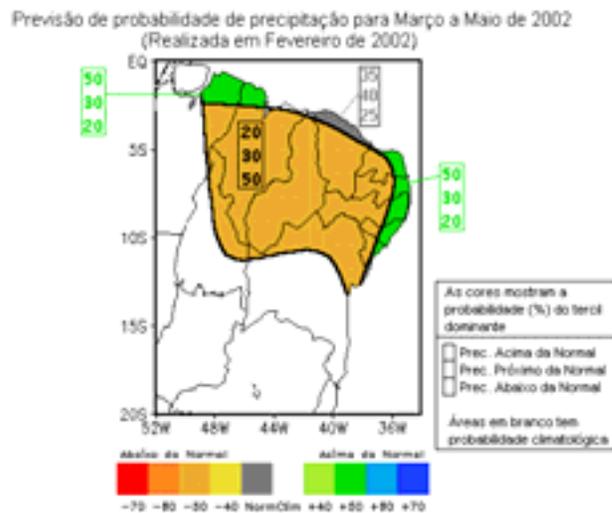


Figura 5 - Previsão de probabilidade por categoria para os meses de fevereiro a maio de 2002, realizada em fevereiro de 2002.

A previsão da probabilidade de categoria de chuva derivada do modelo regional para o período de março a maio de 2002, para a região Nordeste do Brasil, executada em fevereiro de 2002 (Figura 5) indica: 50 % de probabilidade

de ocorrência da categoria "abaixo da normal" na área em cor caqui, que abrange o Piauí, grande parte do Maranhão e Ceará, o norte da Bahia, o oeste e centro dos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe. 50% para a categoria "acima da normal" na área em verde, que se estende do litoral do Rio Grande do Norte até Sergipe e parte do litoral do Pará e Maranhão; 40% para a categoria "próximo da normal" no litoral do Ceará. As áreas em branco são as regiões onde o modelo não possui habilidade em realizar a previsão.

## CONCLUSÕES

O novo sistema de previsão climática regionalizada utilizando a técnica de "downscaling" dinâmico, implantado na FUNCEME em parceria com o IRI, tem-se mostrado uma ferramenta de grande importância, por fornecer maior detalhamento sobre as características climáticas encontradas no NEB. O usuário poderá ter acesso mensalmente a previsões através do site [www.funceme.br](http://www.funceme.br) e utilizar-se destas informações em um nível mais compatível com o seu processo de tomada de decisão.

## BIBLIOGRAFIA

- Juang, H. M. H., and M. Kanamitsu, 1994: The NCEP nested regional spectral model. *Mon. Wea. Ver.*, **122**, 3-26.
- Juang, H. M. H., and M. Kanamitsu, 1997: The NCEP regional spectral model: An update. *Bul. Amer. Met. Society.*, **78**, 2125-2144.
- Lindzen, R. S., S. Nigam, 1987: On the role of sea surface temperature gradients in forcing low-level winds and convergence in the tropics. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 2418-2436.
- Magalhães, A. R., e M. H. Glantz, 1992: *Socioeconomic impacts of climate variations and policy responses in Brazil*, United Nations Environment Program (UNEP), Secretariat for Planning and Coordination State of Ceara (SEPLAN), Esquel Brasil Foundation, 155 pp.
- Nobre, P., A. D. Moura, e L. Sun, 2001: Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 2787-2796.
- Pielke, R. A., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyons, L. D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. J. Lee, J. H. Copeland, 1992: A comprehensive meteorological modeling system - RAMS. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **49**, 69-91.
- Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dümenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U., Schulzweida, U., 1996: The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate. Max-Planck- Institute for Meteorology, Hamburg, **218**, 90 p.
- Small, E. E., F. Giorgi, L. C. Sloan, 1999: Regional climate model simulation of precipitation in central Asia: Mean and interannual variability. *J. Geophys. Res.*, **104**, 6563-6582.
- Stern, W., K. Miyakoda, 1995: Feasibility of seasonal forecasts inferred from multiple GCM simulations. *J. Climate*, **8**, 1071-1085.