

UMA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DE UM MODELO REGIONAL ESPECTRAL ANINHADO EM UM MODELO GLOBAL (ECHAM4.5) SOBRE O SETOR NORTE DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL (1971-2000)

JOSÉ M. BRABO ALVES^{1,2}, JOSÉ NILSON B. CAMPOS^{1,3}, FRANCISCO DE ASSIS DE S. FILHO¹, DAVID F. MONCUNNIL¹, EMERSON M. DA SILVA^{2,4}, WAGNER L. BARBOSA¹, ANTÔNIO G. FERREIRA¹, LIQIANG SUN⁵ e ANTÔNIO DIVINO MOURA⁶

¹Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME - Fortaleza - CE

²Doutorando em Engenharia Civil - Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC

³Phd em Engenharia Civil - Recursos Hídricos - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC

Av. Rui Barbosa, 1246, Aldeota - 60.115-221 - Fortaleza - CE

⁴Universidade Estadual do Ceará - Centro de Ciências e Tecnologia - CCT Departamento de Física e Química - DFQ

⁵Phd em Ciências Atmosféricas - International Research Institute - IRI - NY - EUA

⁶Phd em Ciências Atmosféricas - Departamento Nacional de Meteorologia - DNMET - Brasília - DF

E-mail: brabo@funceme.br, nilson@funceme.br

Recebido Dezembro 2003 - Aceito Junho 2005

RESUMO

Nesse estudo apresenta-se uma comparação dos resultados de simulações (1971-2000) obtidas de um modelo atmosférico de grande escala (*ECHAM4.5 - Max Planck Institute*) e de um Modelo Regional Espectral (MRE) desenvolvido no *National Centers for Environmental Prediction-NCEP* aninhado ao *ECHAM4.5*, com ênfase na distribuição de chuva para o setor norte do Nordeste do Brasil (SNNEB). Os resultados mostraram que para o total de chuva fevereiro a maio (FM) sobre o SNNEB, o *ECHAM4.5* apresentou um predomínio de um bias seco, enquanto no MRE ocorreu um *bias* úmido, exceto no extremo norte do SNNEB onde foi observado um *bias* seco. No setor mais oriental do NEB o MRE teve melhor desempenho, seus erros sistemáticos foram menores do que os observados pela simulação do *ECHAM4.5* para FM. O MRE superestimou a chuva observada sobre o SNNEB em maio, média 1971-2000, essa característica não foi observada no *ECHAM4.5*. O MRE teve melhor desempenho em simular três e cinco categorias de percentis de chuvas (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso) sobre o SNNEB. Quanto à simulação da banda de anomalia de chuva associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico Tropical, tanto o *ECHAM4.5* quanto MRE apresentaram configurações semelhantes as obtidas pelo conjunto de dados Xie e Arkin para anos considerados Normais, de La Niñas e El Niños, porém quantitativamente o *ECHAM4.5* obteve um melhor desempenho. Comparações da circulação atmosférica em 1000 hPa obtidas pelas re-análises do *NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research)* mostraram configurações e intensidades semelhantes, média 1971-2000, com as simuladas pelo *ECHAM4.5* e o MRE, exceto a leste de 20°W cujas simulações mostraram fortes ventos de oeste não aparentes nas re-análises

Palavras-chave: Previsão climática, redução de escala

ABSTRACT: A PRELIMINARY EVALUATION OF CLIMATE SIMULATIONS FROM A REGIONAL SPECTRAL MODEL NESTED IN A GLOBAL MODEL (ECHAM4.5) OVER THE NORTHERN SECTOR OF THE NORTHEAST BRAZIL REGION (1971-2000)

This study presents a comparison of results between simulations (1971-2000) from a Global Atmospheric Model (ECHAM4.5 - Max Plank Institute) and a Regional Spectral Model (RSM) development in National Centers for Environmental Prediction - NCEP nested at ECHAM4.5, with emphasis in rainfall distribution to northern sector Northeast Brazil (NSNEB). The results had shown that for the total rain February to May (FM) on the NSNEB the ECHAM4.5 model showed a predominy of dry bias, and the RSM had presented systematic wet bias, except in the extremity north of the SNNEB where a dry bias was observed. In the most sector eastern of the SNNEB the MRE presented performance better, the systematic bias quality was lesser of that the observed in the simulation of the ECHAM4.5 for FM. O RSM overestimated the rainfall in may month over NSNEB, average 1971-2000, this characteristic not was observed in the ECHAM4.5. The RSM better had performance in simulating three and five categories of percentiles of rains (Very Dry, Dry, Normal, Rainy and Very Rainy) on the SNNEB. About the precipitation band associated the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) over Tropical Atlantic Ocean, both models present similar configurations the get by Xie and Arkin sets to years considered with Normal, of La Niñas and of El Niños, even quantitatively o ECHAM4.5 get better performance. Comparisons of the atmospheric circulation in

1000 hPa from reanalysis of the NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research) show configurations and intensities approximates, average 1971-2000, with the simulates by ECHAM4.5 and RSM, except the east of the 20°W whose simulations had show strong west winds not apparent in reanalysis.

Key words: Climatic forecast, downscaling

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade climática ao longo do globo, desde os primórdios, foi um fator determinante na não fixação do homem e suas atividades em uma determinada região. Os desastres naturais (secas, enchentes, furacões, tempestades de neve, etc), sempre se fizeram presentes como fatores influentes a um melhor desenvolvimento sócio-econômico de várias áreas do globo.

A utilização, cada vez mais eminente de diversos seguimentos sociais, de resultados da previsão climática tem exigido o desenvolvimento de técnicas ou métodos que aprimorem o prognóstico de variáveis nas escalas temporal e espacial. Para o setor norte do NEB podem-se citar inúmeros estudos que elaboraram métodos estatísticos/estocásticos (Hastenrah e Greischar, 1993; Repelli e Alves, 1996, Ward e Folland, 1991, Xavier *et al.*, 2000), ou experimentos numéricos, modelagem matemática/física da atmosfera (Moura e Shukla, 1981; Mechoso *et al.*, 1990 entre outros). Entretanto, esses modelos de baixa resolução, com grade igual ou acima de 300 km, denominados de Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) tem grande dificuldade em prever a variabilidade climática intra-regional dos trópicos, principalmente sobre o Nordeste do Brasil (NEB) (Gates, 1999; Cavalcanti *et al.*, 2002 e outros).

Modelos Regionais (MRs), em geral têm sido usados para previsão de curto prazo (Teixeira *et al.*, 2002). Vários estudos climáticos mostraram resultados de simulações com modelagem regional dando ênfase às suas vantagens e desvantagens (Dickinson *et al.* 1989; Giorgi (1990)). Algumas investigações também foram feitas sobre o desempenho da extensão das integrações com MR, incluindo a re-inicialização ao longo do período de execução do modelo (Pan *et al.*, 1989; Tanajura e Shukla, 2000). Tanajura (1996) e Tanajura e Shukla (2000) mostraram que os MR capturaram melhor as características climáticas sobre a América do Sul do que os MCGAS. Segundo estes autores isso ocorre porque os MRs representam com mais realidade as características de topografia da região, a qual se inclui os Andes, e a alta variabilidade temporal-espacial de importantes fatores climáticos como a intensa precipitação na Amazônia, o jato de baixos níveis, e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), entre outros.

Em Mass *et al.* (2001) é feita uma revisão de estudos a cerca de MRs, além de inferências sobre a simulação de um MR para várias resoluções horizontais. Seus resultados, para o oeste dos Estados Unidos, evidenciaram que o decréscimo da grade nos MRs para valores entre 10-15 km mostraram mais fidedignidade nos resultados, mas não necessariamente incrementaram de forma significativa e objetiva o desempenho dos das previsões. Warner *et al.* (1997), apresentaram algumas

limitações da previsão de tempo de MRs, levando em consideração as condições de fronteira lateral aplicadas nos MRs, e possíveis atributos capazes de minimizar seus efeitos negativos. Gallus (1999), mostrou resultados de simulações do modelo *ETA* do *National Centers for Environmental Prediction - NCEP* para três eventos de precipitação extrema sobre o setor central dos Estados Unidos levando em consideração a sensibilidade da simulação quanto ao domínio e a parametrização de convecção. Porém, desde o final da década de 80 e início dos anos 90 os MRs tiveram seus primeiros testes com objetivo de *downscale* (Dickinson *et al.* 1989; Giorgi (1990)).

Essa técnica, chamada também de *downscaling*, tem como base o aninhamento de um modelo regional em um MCGA (Dickinson *et al.* 1989; Giorgi e Bates, 1989; Liu *et al.*, 1994). Exemplos de estudo dessa técnica foram feitos para algumas regiões do globo, como a África (Sun e Graham, 2001), Região de Monções Asiáticas (Ji e Vernekar, 1997) e Nordeste do Brasil, região semi-árida, (Nobre *et al.* 2001) e para América do Sul (Chou *et al.*, 2000). Áreas, em geral, onde a modelagem numérica de grande escala apresentou uma melhor capacidade de previsão sazonal. Os resultados desses estudos revelaram que o *downscaling*, nessas áreas, foi capaz de capturar a configuração da distribuição espacial e temporal da precipitação e o padrão de circulação atmosférica observados, cita-se caso das Monções Asiáticas (Ji e Vernekar, 1997). Uma das vantagens do uso de modelos regionais, é que suas grades incorporam uma alta resolução de topografia, não implícita na modelagem de grande escala, que tendem a representar melhor os efeitos da orografia na distribuição de chuva intra-regional da área de interesse modelada (Giorgi, 1989).

Para a América do Sul, ainda há poucos estudos usando essa técnica. Mais especificamente para o NEB, Nobre *et al.* (2001) fizeram um estudo para a previsão sazonal de precipitação pluvial de três membros aninhando um Modelo Regional Espectral (MRE) desenvolvido no *National Centers for Environmental Prediction-NCEP*, a um MCGA (*ECHAM3.6*), com três diferentes condições iniciais para o período de fevereiro a maio de 1999. As previsões foram feitas utilizando-se duas grades para o MRE, uma de 80 km e outra menor de 20 km, sendo que os resultados prognosticados na grade de 80 km foram usados como dados de entrada a cada 6 horas para a grade de 20 km. Em seus resultados o modelo regional com 80 km de resolução obteve melhor desempenho do que o modelo de grande escala reduzindo seus erros sazonais e quadráticos para uma área sobre o NEB.

Essa característica também foi observada quando Nobre *et al.* (2001), compararam o resultado obtido com 80 km em relação ao de 20 km. Com a resolução de 20 km o MRE

mostrou um incremento da chuva nas áreas de topografia mais elevadas, não consistente com o observado, indicando possíveis problemas na parametrização da convecção utilizada. Outro resultado interessante foi uma melhor previsão da posição e extensão meridional da ZCIT sobre o Atlântico Tropical feita pelo MRE de 80 km em relação ao MCGA. Nobre et al. (2001) mostraram também que os resultados do MRE com 80 km apresentam a possibilidade da previsão da frequência de distribuição de dias secos e chuvosos dentro da quadra chuvosa do setor norte do NEB (período de fevereiro a maio). Outro estudo sobre estimativa de balanço de água no solo para a região semi-árida do NEB usando um MRE foi executado por Böhm et al. (1998). Druyan et al., (2002), também realizaram um estudo de *downscaling* para março, abril e maio de previsão de clima sazonal com ênfase a área do território brasileiro.

Recentemente, Seth e Rojas (2003) mostraram resultados de integrações sazonais (janeiro a maio de 1983 e 1985), sobre a América do Sul e Atlântico adjacente, de um modelo climático regional forçado por dados de circulação atmosférica das re-análises do *Climate Prediction Center e National Center for Environmental Prediction (NCEP/NCAR)*, tendo como condição de contorno a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) observada. Em seus resultados o MR conseguiu mostrar a diferença de precipitação nos dois anos de contrastes, 1983 (seco) e 1985 (chuvoso), sugerindo que, aparentemente, a forçante de grande escala é o primeiro fator a influenciar a resposta da simulação regional de precipitação sobre a América do Sul e Atlântico adjacente. Outro resultado mostrado nesse artigo foi a sensibilidade da simulação ao tamanho do domínio, indicando que nos trópicos simulações de MRs requerem domínios mais largos do que nas latitudes médias. Na parte II desse estudo de simulação sobre a América do Sul, Rojas e Seth (2003), apresentaram os resultados dessa simulação com o aninhamento de um MR, para os dois anos de contrastes climáticos, dirigido em suas fronteiras laterais com um conjunto de simulações de um MCGA. O MR respondeu bem a forçante de TSM observada em 1983 (El Niño) e 1985 (La Niña), conseguindo capturar as principais características da circulação atmosférica e as diferenças na distribuição e total de chuva nesses dois anos. O MR também melhorou a configuração de distribuição de chuva mensal (janeiro a maio), quando comparado ao observado, em relação ao simulado pelo MCGA. Esse estudo mostrou também que a dificuldade de simular a localização da ZCIT no MCGA, propicia um excesso de chuva no NEB. Um teste expandindo o domínio do MR possibilitou que seus resultados capturassem melhor a influência da TSM e orografia da região. Neste teste a localização da ZCIT foi melhorada na simulação, como também a evolução das chuvas na Amazônia, NEB e sudeste do Brasil.

Roads et al. (2003), apresentaram resultados de um projeto de inter-comparação de modelagem regional de precipitação sobre a América do Sul. Cinco MR desenvolvidos em diferentes instituições foram dirigidos pelos dados de re-análises do *NCEP/NCAR* com domínio centrado sobre o Brasil. Seus resultados comparados com os de Xie e Arkin (1996), mostraram que todos MR tiveram erros sistemáticos similares

aos obtidos com os dados de re-análises, entretanto o erro do resultado do conjunto dos modelos foi muito menor indicando o potencial do uso de vários conjuntos de MR.

O objetivo desse estudo foi fazer uma comparação entre os resultados da simulação de um MCGA (*ECHAM4.5* desenvolvido no *Max Plank Institute*) e os resultados do aninhamento de um MRE, desenvolvido no *NCEP/NCAR*, no *ECHAM4.5* para o quadrimestre FM com ênfase a precipitação pluvial no setor norte do NEB (1971-2000) e Atlântico tropical. Vale mencionar que nesse estudo não se investigará nada a respeito das diferenças de variáveis físicas a superfície resultante de trocas de calor, balanço de umidade e momento entre a superfície e a atmosfera tais como (balanço de radiação, fluxos de calor latente e sensível), bem como de variáveis atmosféricas derivadas de parametrizações a exemplo de divergência de umidade, água precipitável na coluna atmosférica, etc.

2. DADOS E METODOLOGIA

O sistema de modelagem regional do clima instalado na FUNCEME tem apoio científico do *International Research Institute (IRI)*, Universidade de *Columbia (EUA)* como parte do convênio oficializado entre ambas as Instituições. O modelo regional é uma versão hidrostática do MRE *NCEP* (Juang e Kanamitsu, 1994) aninhado no MCGA *ECHAM4.5* do *Max Plank Institute*, que tem um truncamento triangular no número de onda T42 (aproximadamente 2,8° de latitude e longitude) e dezoito níveis na vertical. O estudo climático foi realizado com a versão hidrostática do MRE do *NCEP* com dezoito níveis verticais e 60 km de resolução horizontal.

2.1. Algumas Características do MRE

O MRE usado é uma versão do MRE desenvolvido no Centro de Modelagem de Meio Ambiente do *NCEP* desenvolvido por Juang e Kanamitsu (1994). Uma importante característica do MRE é a resolução da perturbação dependente do tempo e o detalhamento de alta ordem da computação que utiliza o método espectral. O MRE tem características físicas do modelo espectral global (MEG) que é usado para previsão de médio prazo como descrito em Kanamitsu et al. (1991). Um importante avanço foi também endereçado na dinâmica do MRE para manter a sua estabilidade computacional, uma opção de difusão local contida no MEG foi implementada (Iridell e Purser, 1994). A mesma pode ser utilizada para passos de tempo mais longos e faz uma checagem e difusão das áreas de ventos fortes que poderiam causar instabilidade computacional. Essa opção pode não ser ideal para previsão em áreas onde correntes de jato são importantes dinamicamente para sistemas atmosféricos de curta duração, entretanto pode ser útil para estudos climáticos que requerem integrações mensais com MRE de alta resolução.

O MRE tem dezoito níveis sigma na vertical, com as seguintes características físicas: radiação de onda longa e onda curta com variação diurna, interação com radiação de

nuvem, uma camada na superfície com propriedades físicas da camada limite planetária, arrasto por onda de gravidade, convecção cumulus tipo Arakawa-Shubert simplificada (Pan e Wu, 1994; Hong e Pan, 1996), convecção rasa e alguns processos hidrológicos (Kanamitsu, 1989). As parametrizações físicas são computadas a cada passo de tempo, exceto para a rotina de radiação que é chamada a cada uma hora pelo MRE. Além disso, vários pacotes físicos têm sido testados e implementados, particularmente para parametrização de convecção (Juang *et al.*, 1997). O MRE também usa um modelo de solo de duas camadas descrito por Pan e Marth (1987). Esse modelo de solo é usado para descrever o papel da vegetação e sua interação com a umidade no solo em modificar as trocas entre a superfície-atmosfera de fluxos de momento, energia e vapor d'água.

2.2. Características do MCGA (ECHAM4.5)

O modelo *ECHAM4.5* é baseado no modelo de previsão de tempo do *European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF)*. Várias modificações tem sido aplicadas no mesmo no *Max Planck Institute for Meteorology and German Climate Computing Centre (DKRZ)* para melhorar a previsão climática, estando o mesmo atualmente na quarta geração. Uma detalhada descrição do *ECHAM4.5* pode ser encontrada em Roeckner *et al.* (1996). Na versão padrão do modelo o mesmo tem 19 níveis híbridos usados em um sistema de coordenadas de pressão-sigma. O domínio vertical se estende até o nível de pressão de 10 hPa. Variáveis prognósticas são vorticidade, divergência, logaritmo de pressão a superfície, temperatura, umidade específica, razão de mistura e total de água de nuvem. Exceto para componentes de vapor o prognóstico das variáveis são representados por harmônicos esféricos com truncamento triangular no número de onda T42.

O passo de tempo para a dinâmica e a física é de vinte e quatro minutos para a resolução horizontal T42. O passo de tempo para a radiação é duas horas. Os ciclos diurnos e sazonais da forçante solar são simulados. Para o transporte de vapor d'água e água de nuvem um semi lagrangeano esquema é usado. Os fluxos turbulentos de superfície são calculados através do Monin-Obukov *bulk* usando teoria da similaridade (Louis, 1981). Dentro e acima da camada limite atmosférica um esquema fechado de alta ordem é usado para computar a transferência turbulenta de momento, calor, mistura e água de nuvem. Os coeficientes de difusão turbulenta são calculados como função da energia cinética turbulenta (E). O modelo de solo contempla os balanços de calor, água no solo, pacote de neve sobre o continente e balanço de calor no gelo sobre o continente.

Efeitos de vegetação tais como intercepções de chuva na copa das árvores e controle de evapotranspiração pelos estômatos são parametrizados. O esquema de estimativa do escoamento superficial tem como base a área de captação da bacia hidrográfica e leva em consideração as variações de sub grade da capacidade máxima de armazenamento de água no solo (capacidade de campo) sobre áreas continentais não

homogêneas. Parâmetros de superfície tais como albedo, rugosidade, tipo de vegetação, índice de área foliar e parâmetros de solo tais como, capacidade de armazenamento de água, capacidade e condutividade térmica foram compiladas segundo Claussen *et al.*, 1994. As parametrizações de convecção cumulus (rasa, média e profunda) são baseadas no conceito de fluxo de Tiedtke (1989).

2.3. Sobre o Experimento

O aninhamento entre o MCGA e o MRE foi unidirecional usando os resultados do MCGA de janeiro a maio (1971-2000), como dados de entrada para o MRE de seis em seis horas. O método de perturbação aninhada usada seguiu o utilizado no MCGA sobre todo o domínio, e não somente na zona de fronteira lateral. Essa metodologia é diferente dos métodos convencionais usados na modelagem numérica, que usam os resultados do MCGA somente nas fronteiras laterais dos MRE. As variáveis dependentes no MRE são definidas como a soma da perturbação e o campo base (campo que depende do ajuste do MCGA em relação ao MRE). A resolução da perturbação no domínio regional incluiu um esquema semi-implícito, com filtragem no tempo com difusão horizontal. Maiores detalhes sobre o MRE podem ser encontrados em Juan *et al.* (1997).

Antes da execução do experimento de simulação foram executadas algumas simulações para o mês de abril de 2001. Essas serviram para a escolha do domínio regional a ser utilizado, que contemplasse o comprimento ideal para fins de recursos computacionais, além da área geográfica específica de localização da fronteira lateral (áreas de topografia plana e sem grande atividade convectiva), características que afetam a sensibilidade do MRE. Após uma análise comparativa do campo de precipitação sobre o NEB e bacia do Atlântico Tropical entre o observado e o simulado, optou-se pela escolha da simulação de número sete (Tabela 1) para ser usado como controle para execução da simulação do MRE para os meses de janeiro a maio de 1971.

Essa simulação foi que apresentou melhor configuração qualitativa e um menor *bias* no campo de chuva sobre o NEB e bacia do Atlântico Tropical. Os domínios do MCGA e do MRE usados na simulação de número sete e suas topografias utilizadas são mostrados nas figuras 1 e 2. O MRE foi integrado, com um conjunto de dez membros, na versão não-hidrostatica, passo de tempo seiscentos segundos em modo de simulação, com um espaçamento de grade de 60 km centrada na latitude de 3°S e na longitude de 27°W, e dezoito níveis verticais. O domínio compreendeu desde o oeste da África do Sul até Região Amazônica (Figura 1), para um período de quatro meses (fevereiro a maio) durante trinta anos, de 1971 a 2000, utilizando como dados de entrada nas suas inicializações a saída de algumas variáveis do *ECHAM4.5* (Alves *et al.*, 2003). Esta integração por membros, teve como base o conjunto de integrações do *ECHAM4.5*, sendo aninhado em cada um dos seus 10 conjuntos para cada ano entre 1971-2000. A condição inicial de cada integração do MR foi a

própria simulação mês a mês do *ECHAM4.5*. As principais características da simulação do MRE como passo de tempo, centro da grade, o número de pontos em latitude e longitude e o tempo de processamento são mostrados na Tabela 1.

Nas simulações o tipo de solo foi um com característica intermediária entre um arenoso e um argiloso. A vegetação foi do tipo savana com uma cobertura de 70% da área de cada grade do MRE. Essa mesma característica foi aplicada para a cobertura do tipo de solo utilizada.

As forçantes de grande escala utilizadas nas simulações do MRE foram obtidas de simulações do MCGA *ECHAM4.5* para os meses de fevereiro a maio de 1971 a 2000. A informação de larga escala das componentes meridional e zonal do vento, umidade específica, temperatura e pressão a superfície serviram de entrada a cada seis horas para alimentar o domínio do MRE. Temperatura da Superfície do Mar (TSM) observada nos oceanos Pacífico, Atlântico e Índico (Reynolds e Smith, 1994) nos supracitados meses serviram de variáveis de contorno à superfície nas simulações do *ECHAM4.5* e do MRE. Os dados observados de precipitação para a Região Nordeste (obtidos no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC-INPE interpolados para a grade de domínio do modelo regional serviram de base observacional para comparação com os resultados das simulações sobre essa região. Maiores detalhes sobre esses dados podem ser encontrados em Sun *et al.* (2005)).

Dados de re-análises do *NCEP/NCAR* de vento (componente zonal e meridional) e precipitação selecionados para área do Atlântico Tropical serviram de base para comparar a circulação atmosférica, e precipitação na área da ZCIT obtida por estas re-análises e a simulada pelos modelos *ECHAM4.5*.

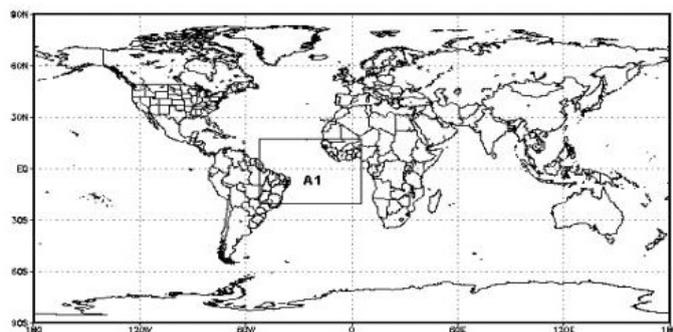


Figura 1: Domínio dos modelos MCGA (*ECHAM4.5*) utilizado nas simulações do *ECHAM4.5* e do MRE (área A1 da figura).

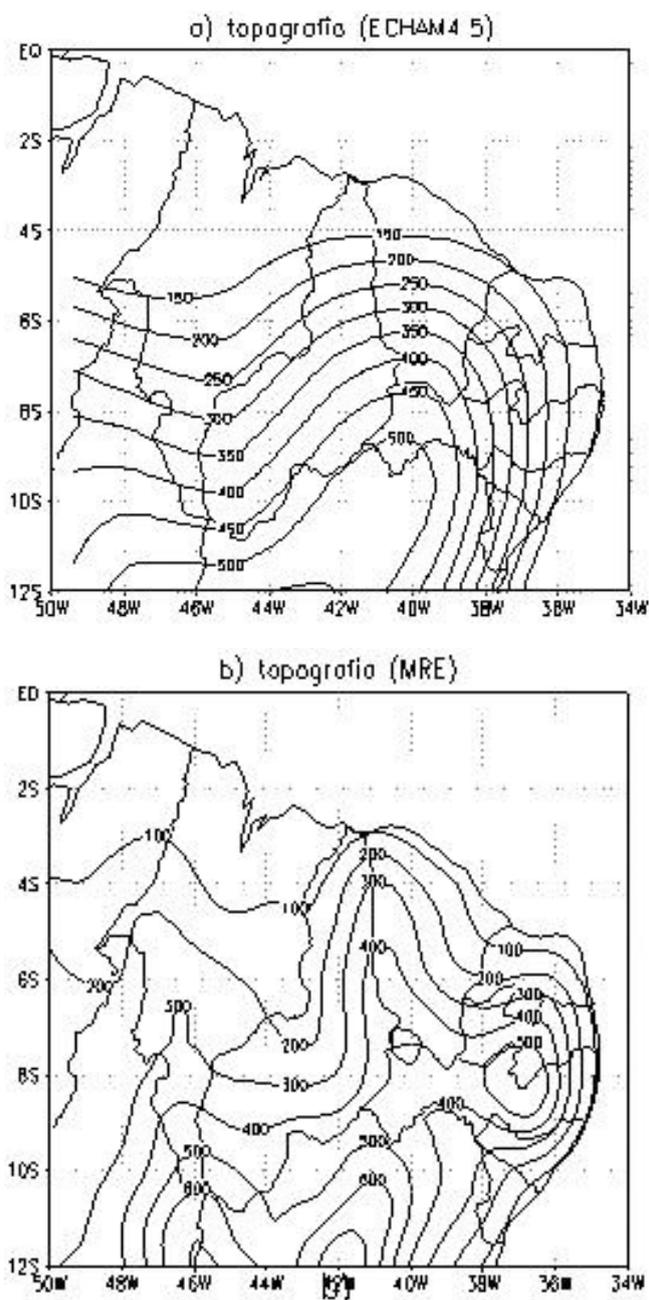


Figura 2: Topografia sobre a Região Nordeste (m). a) MCGA (*ECHAM4.5*), b) MRE. O espaçamento entre as isolinhas da Figura 2a é de 50 m, (e da 2b) é de 100 m.

<i>Simulação</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
Esp. Grade (km)	30	40	60	80	40	60	60	60
Passo de tempo (s)	240	300	300	360	300	300	600	300
Centro da grade	3S,40W	3S,40W	3S,40W	3S,40W	3S,40W	3S,58W	3S,27W	3S,40W
No. de pontos I	73	55	73	55	73	109	109	109
No. de pontos J	90	68	72	54	90	72	72	72
Duração (hora)	16:00h	06:35h	10:00h	04:10h	13:00h	17:10h	17:10h	17:10h

Tabela 1: Experimentos de simulação executados para o mês de abril de 2001 para se definir o experimento de controle que serviu de base para as simulações do MRE para o trimestre (fevereiro a maio – 1971 a 2000).

Os resultados do *ECHAM4.5* também foram interpolados para a mesma grade utilizada nas simulações.

Os desempenhos das simulações dos modelos *ECHAM4.5* e do MRE foram investigados em uma área representativa do setor norte do NEB (45°W-37°W e 12°S-2°S) utilizando-se alguns índices estatísticos.

Dado um conjunto de previsões de um modelo (ϕ_i) e um conjunto correspondente de observações nos mesmos pontos de grade, ($\phi_{i,obs}$), com médias ϕ_0 e $\phi_{0,obs}$, respectivamente, os seguintes índices foram calculados:

- Determinação do *bias* (B) - Eventualmente, as simulações podem ter um erro sistemático, por exemplo, serem significativamente mais secas ou úmidas, no caso de simulação ou previsão de precipitação. Para se determinar o *bias*, a seguinte fórmula foi utilizada para o cálculo do *bias*: $B = \phi_0 - \phi_{0,obs}$. Uma correção do erro sistemático contido no *bias* para a precipitação foi feita subtraindo-se a anomalia climatológica, dada pela diferença entre a média simulada e a observada (1971-2000), dos valores totais simulados e recalculado novamente o *bias* (Kanamitsu *et al.* 2002). Essa correção foi feita somente para os totais médios do conjunto de simulações para o total de chuva de fevereiro a maio.

- Coeficientes de correlação e Erro Médio Quadrático - Foram calculados pela formulação clássica, utilizando-se os valores observados e estimados pelas simulações (Spiegel, 1985).

- Comparações do espalhamento entre os dez membros da simulação e a média desses membros entre o observado e o simulado pelo MRE foram feitas mensalmente (fevereiro, março, abril e maio), para os anos no período entre 1971-2000.

- Para comparar o desempenho do *ECHAM4.5* e MRE em simular a banda de chuva associada a ZCIT no Atlântico Tropical no período FM foi feita uma comparação entre a precipitação simulada e a observada (suas anomalias em relação as suas respectivas médias) compreendendo uma área do Atlântico Tropical. A precipitação utilizada nessa comparação chamada de observada foi a obtida do conjunto de estudos de Xie e Arkin (1996). Essa comparação foi feita para todas as composições de anos da Tabela 2 a partir de 1979. Para circulação atmosférica (1000 hPa), a comparação entre o simulado pelos modelos *ECHAM 4.5* e o MRE foi feita usando-se os dados de re-análises (Kalnay *et al.*, 1996). As médias para a simulação foram calculadas (1971-2000) e para os dados de Xie e Arkin o período refere-se a 1979-2000.

Os anos de contrastes climáticos definidos como de El Niño e La Niña fracos e anos normais foram selecionados tendo como base a relação disponível no *Climate Prediction Center (CPC) do NCEP* (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html). A classificação desses eventos foi realizada usando reanálises de TSM do *CPC/NCEP* e do *United Kingdom Meteorological Office* tendo como foco a região do Oceano Pacífico Equatorial (área entre 150°W a 180° e 5°N a 5°S). Segundo essa classificação os episódios El Niño, La Niña e normais foram selecionados por trimestre (janeiro, fevereiro e março- JFM, abril, maio e junho – AMJ, julho, agosto e setembro – JAS e outubro, novembro e dezembro – OND). Para o estudo em questão, a partir dessa classificação, definiu-se a intensidade do evento em cada ano como sendo a intensidade mais predominante nos quatro trimestres. A Tabela 2 mostra essa classificação.

Uma estatística para se investigar a influência numérica das simulações chamada de ruído e da condição de contorno devido a TSM foi executada com os dados resultantes do MRE. Segundo Shukla *et al.* (2000) esses termos de variâncias são devidos o sinal da condição de contorno (TSM) do MR, ou em função da variância no tempo da média do conjunto no período de anos simulados, e a variância total (Rowell *et al.* 1995), que é definida como a soma da variância devido ao sinal mais a variância do ruído.

As formulações abaixo mostram os cálculos dessas variâncias mencionadas. Seja para uma variável climática média x_{ij} para N anos ($i=1,2,3, \dots, N$), e n conjunto de membros do experimento de simulação ($j=1, 1, 2, 3, \dots, n$), a média dos membros \bar{x} e a média climatológica (dos conjuntos) \bar{x}_i podem ser definidas como abaixo. σ_{EM}^2 significa a variância dos membros. Esses cálculos foram executados para cada ponto de grade do domínio do MRE. Segundo Misra *et al.*, 2003, quando a variância do ruído é maior que a variância do sinal, isso indica que a variável analisada é menos previsível, sendo mais influenciada pelo estado caótico da atmosfera, sua própria variabilidade interna.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}; \quad \bar{x} = \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \sigma_{EM}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

$$\sigma_{ruído}^2 = \frac{1}{N(n-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad \sigma_{sinal}^2 = \sigma_{EM}^2 - \frac{1}{n} \sigma_{ruído}^2$$

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{ruído}^2 + \sigma_{sinal}^2$$

Tabela 2 – Classificação dos anos considerados Normais, de El Niño e La Niña .

Anos Normais	1979, 1981, 1986, 1990, 1997
El Niño	1980, 1982, 1983, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993, 1995, 1998
La Niña	1984, 1985, 1989, 1996, 2000, 1999

Tabela 2: Classificação dos anos considerados normais, de El Niño e La Niña.

Foi calculada também a chance de acerto, do total de chuva no período de fevereiro a maio, para três (Seco, Normal e Chuvoso) e para cinco categorias de percentis (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso). O intervalo em (mm) de precipitação que definiu os limites de cada categoria para os dados simulados e observados no período (1971-2000) em cada ponto de grande do domínio do MR foi definido segundo a técnica dos percentis calculados por Xavier e Xavier (1998), cujos limites segundo a aplicação de uma distribuição da função Gama são de 0% a 15% (Muito Seco), >15% a <=35% (Seco), >35% a <=65% Normal, >65% a <=85% (Chuvoso) e >85% (Muito Chuvoso).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 mostra uma comparação entre a simulação feita pelo modelo global *ECHAM4.5* e o MRE para precipitação no setor norte do NEB, dado pelo coeficiente correlação entre a precipitação simulada e a observada para o período de fevereiro a maio (1971-2000). Nota-se que em grande parte do setor norte do NEB a correlação entre os valores simulados de precipitação pelos modelos *ECHAM4.5* e o MRE e a precipitação observada são similares, exceto sobre o Ceará e parte dos estados da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, onde os valores de *r* para o MRE são superiores a 0,7 e em algumas áreas isoladas superiores a 0,8.

O *bias* e o *bias* com correção do erro sistemático são mostrados nas Figuras 4 e 5. Nota-se que o *ECHAM4.5* mostrou um predomínio de um *bias* seco, enquanto o MRE apresentou um *bias* úmido em grande parte do setor norte do NEB, o qual intensifica na região oriental do NEB (setor centro-norte) dos Estados do Maranhão e Piauí. Com a correção do erro sistemático há uma diminuição da magnitude desse erro nessa região, entretanto ainda manteve-se gradiente na área oriental do NEB. Esse *bias* úmido do MRE deveu-se, aparentemente, a simulação do mês de maio, onde o MRE superestima em excesso a chuva observada no NEB na simulação de todos os seus 10 membros (veja análises posteriores). Nos resultados de Sun *et al.* (2005), com uma avaliação para o período de fevereiro a abril, o MRE apresentou a predominância de um *bias* seco sobre o NEB (ver sua Figura 9b), entretanto a sua base de dados observados de precipitação incorporou mais dados do que os usados nesse estudo.

O interessante das Figuras 4 e 5 é que as mesmas mostram que quantitativamente não ocorre uma diminuição do erro quando é feito o *downscaling*. A superestimativa do MRE no setor oriental do NEB pode ser devido as parametrizações de convecção e efeitos de topografia, além, também, de possíveis efeitos da resolução utilizada na simulação do MRE (60 km). Giorgi e Marinucci (1996), Gallus (1999), Mass *et al.* (2002), Tanajura *et al.* (2003), mostraram como a simulação de precipitação em modelos regionais é sensível a resolução utilizada.

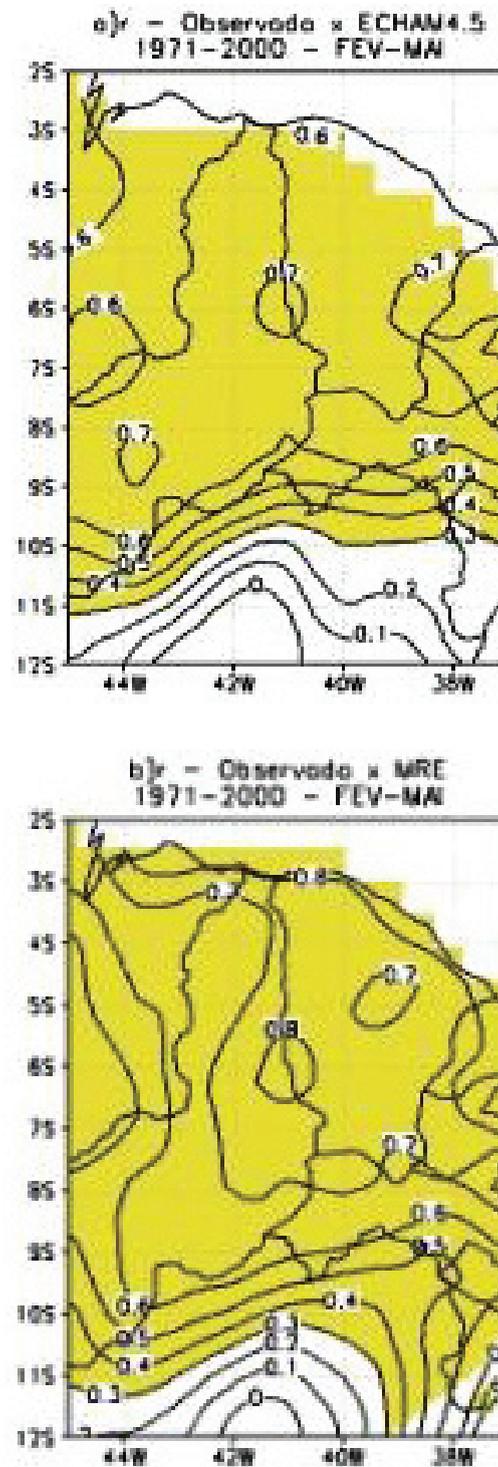


Figura 3: Coeficiente de correlação entre a precipitação observada e simulada (1971-2000) para o setor norte do NEB. a) observado x *ECHAM4.5* e b) observado x MRE. As áreas hachuradas indicam significância estatística de 95% segundo Teste t Student.

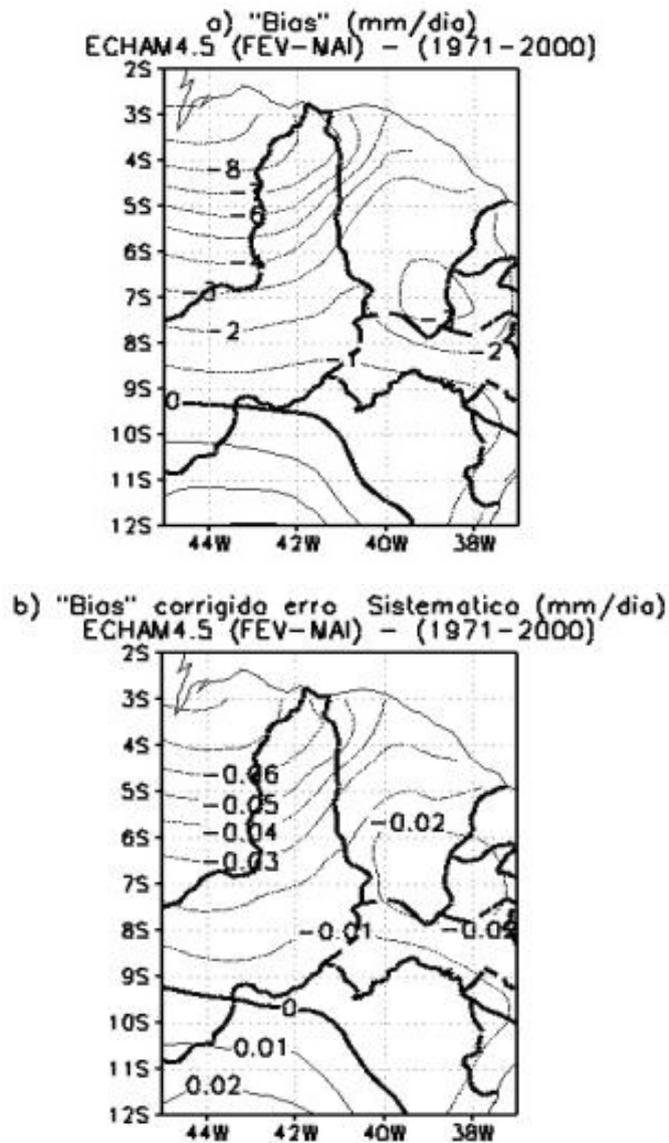


Figura 4: *Bias* (mm/dia) da precipitação simulada pelo modelo *ECHAM4.5* e a observada no setor norte do NEB (1971-2000). a) *bias*, b) *bias* com a correção do erro sistemático.

A Figura 6 mostra a chance de acerto da simulação do *ECHAM4.5* MRE para três categorias, Seco, Normal e Chuvoso e cinco categorias de percentis (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso). Pode-se observar por essas figuras que o MRE conseguiu simular tanto nas três como nas cinco categorias um maior número de anos no período entre 1971-2000. Ressalta-se que essa chance foi comparada a climatologia de 30 anos de ambos os modelos e não com a climatologia dos dados observados. Nota-se que para três categorias o MRE conseguiu simular a categoria em mais de 50% e em algumas áreas acima de 60% dos anos, enquanto para cinco categorias a chance de acertar é menor da ordem de 30% a 40%, porém ainda maior do que a simulação do *ECHAM4.5*. A Figura 7 apresenta as variâncias chamadas de total, do ruído e do sinal simuladas pelo MRE e a variância dos dados

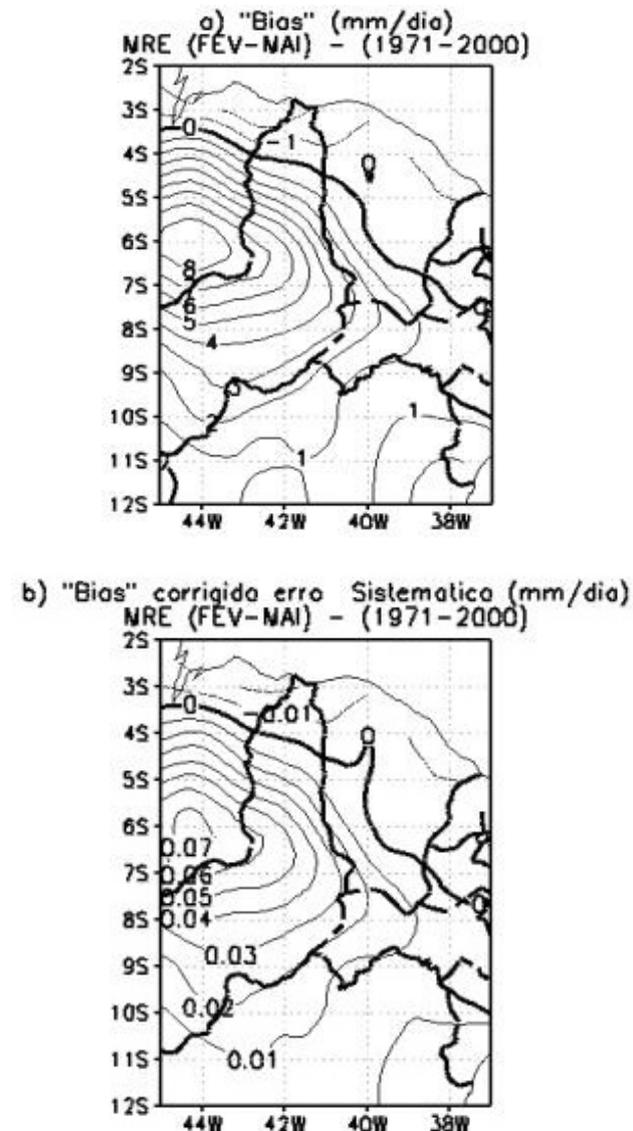


Figura 5: *Bias* (mm/dia) da precipitação simulada pelo MRE e a observada no setor norte do NEB (1971-2000). a) *bias*, b) *bias* com a correção do erro sistemático.

observados. A variância do MRE (Figura 7a) não é consistente no padrão e magnitude da configuração da variância observada. Além de que em algumas áreas da região esta superestimou a variância observada (Figura 7d). A contribuição da variância do sinal, devido a TSM, implícita nos resultados do MRE através dos dados de entrada vindos das previsões do *ECHAM4.5* é mostrada na figura 7c. Sendo essa a principal variável de controle climático para precipitação nos trópicos (Moura e Shukla, 1981, Hastenrah, 2002), essa figura mostra que essa variância explicou mais de 60% da variância total apenas nas áreas em que o MRE superestimou a precipitação observada acentuadamente (área centro-norte do estado do Piauí). Essa característica é similar a observada por Shukla *et al.* (2000) avaliando a modelagem de grande escala para a precipitação sobre a bacia do Oceano Pacífico Tropical. Nas

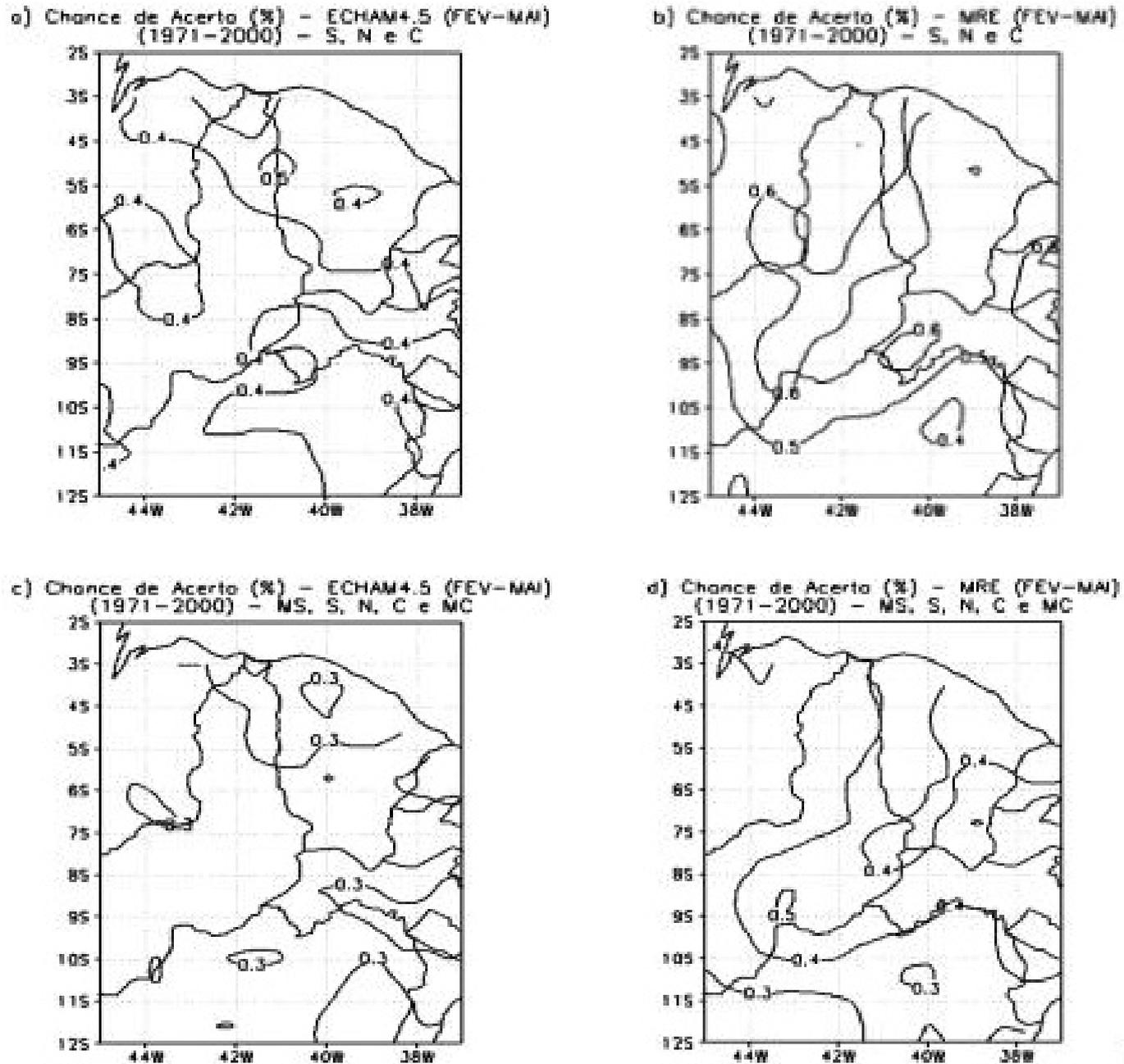


Figura 6: Chance de acerto (%) em três categorias (Seco-S, Normal-N e Chuvoso-C) ou cinco categorias (Muito Seco-MS, Seco-S, Normal-N, Chuvoso-C e Muito Chuvoso-MC) de percentis de precipitação para o setor norte do NEB. a) Para três categorias ECHAM4.5, b) Para três categorias MRE, c) para cinco categorias ECHAM4.5 e d) para cinco categorias MRE. Nas figuras 0 significa 0% de acerto, 0,1 10%, 0,2 20%, e assim sucessivamente.

demais áreas do NEB não ocorreram grandes diferenças entre a variância do sinal e do ruído, implicando que estatisticamente o número de membros parece ainda ser pequeno para mostrar uma maior influência da condição de contorno, sinal da TSM (Rowell *et al.*, 1985), que fisicamente é comprovado sobre a precipitação dessa região (Hastenrah e Heller, 1977; Moura

e Shukla, 1981; Nobre e Shukla, 1996). Além disso, se o MRE tem um erro sistemático grande e posiciona a ZCIT erroneamente, isso sugere que um aumento na quantidade de membros do conjunto poderá não corrigir a variância na direção das observações, indicando mais um problema de condição de contorno do modelo global superposto as deficiências do MRE.

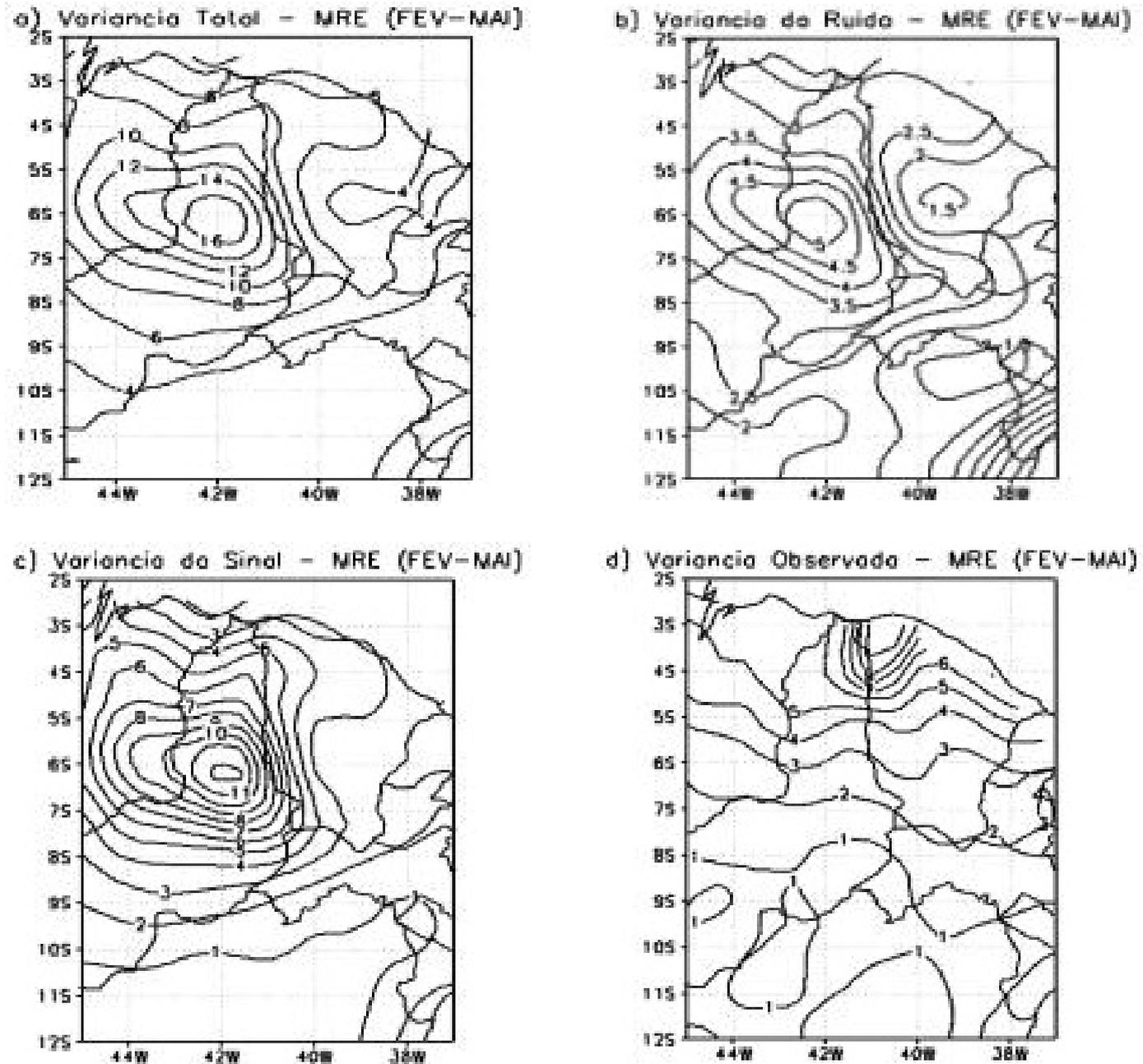


Figura 7: Variância interanual (mm^2/dia^2) da simulação do MRE (1971-2000) para o quadrimestre fevereiro a maio. a) variância total; b) variância do ruído, c) variância do sinal e d) variância observada.

A Figura 8 mostra a dispersão dos membros mensalmente fevereiro a maio (período 1971 a 2000) do *ECHAM4.5* e do MRE e suas médias (10 membros) para a precipitação comparada ao observado para o setor norte do NEB ($45^\circ\text{W}-37^\circ\text{W}$, $12^\circ\text{S}-2^\circ\text{S}$). Nota-se como verificado na Figura 2 relativa aos erros, que não é notada uma diferença significativa entre os valores simulados pelo *ECHAM4.5* e o MRE, exceto para o mês de maio, onde o MRE em todos os anos superestimou a precipitação pluviométrica.

Esse fato revela um dos principais problemas do MRE, algumas observações e discussões com o grupo de *downscaling*

da FUNCEME têm evidenciado que a simulação do MRE não representa bem o ciclo sazonal de posicionamento da ZCIT. Isto é, sua subida em direção a latitudes acima do equador na direção do Hemisfério Norte no mês de maio. Esse fator deve ser responsável pelo incremento de chuva, em média, durante esse mês ao longo dos 30 anos mostrado na Figura 8h, característica não verificada na simulação do *ECHAM4.5*. Vale mencionar que, algumas simulações executadas recentemente pelo grupo de *downscaling* da FUNCEME, com a diminuição do domínio lateral do MRE para em torno de 20°W , mostraram uma melhor simulação dessa característica sazonal da ZCIT.

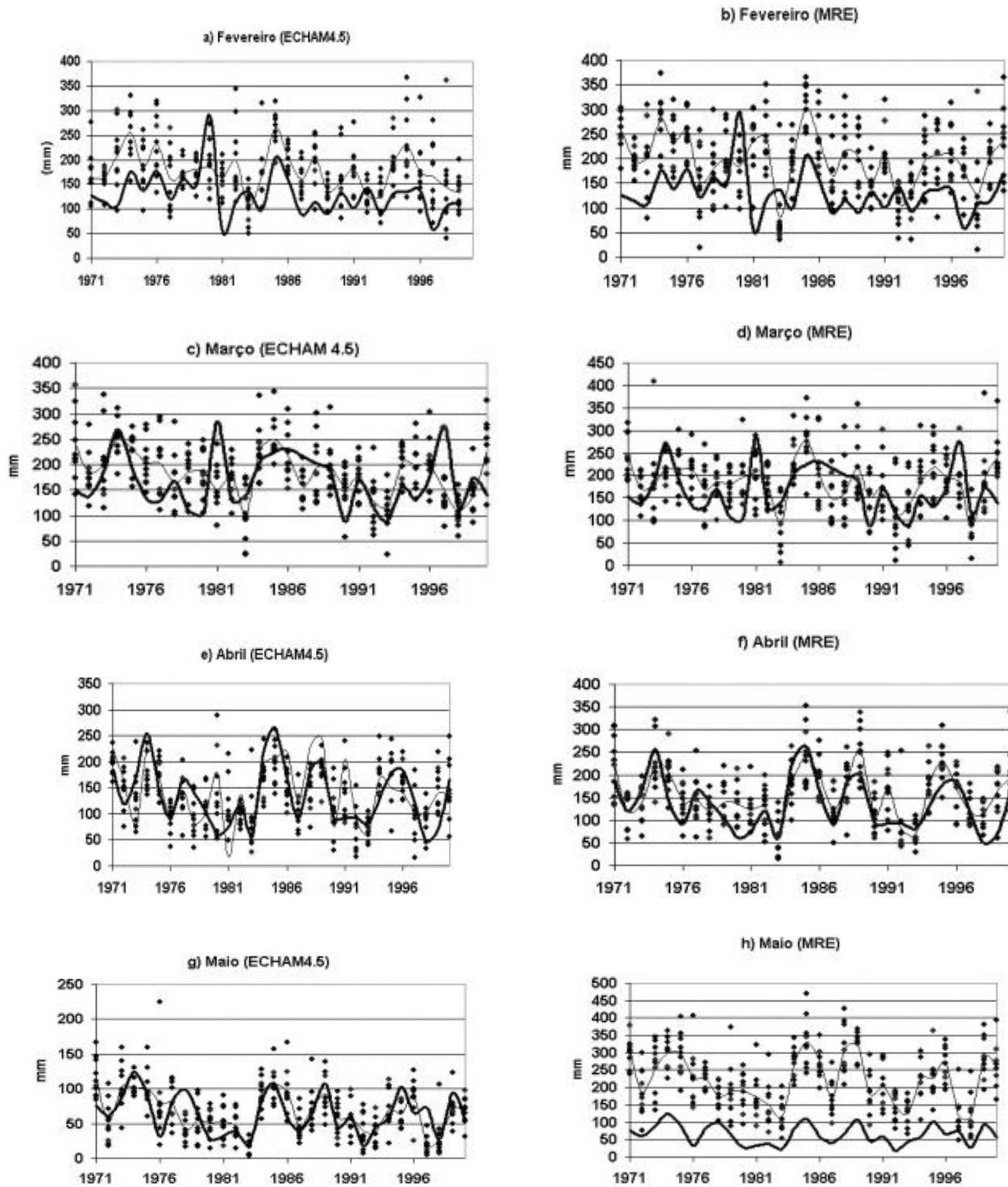


Figura 8: Precipitação simulada pelo *ECHAM4.5* e MRE e a observada para SNNEB (45°W,37°W e 12°S,2°S) em mm. (a) fevereiro *ECHAM4.5*, b) fevereiro MRE, c) março *ECHAM4.5*, d) março MRE, e) abril *ECHAM4.5*, f) abril MRE, g) maio *ECHAM4.5* e h) maio MRE. As linhas grossas e finas nas figuras representam a média observada no SNNEB e a média dos dez membros nas simulações dos modelos, enquanto os pontos são os valores para cada membro.

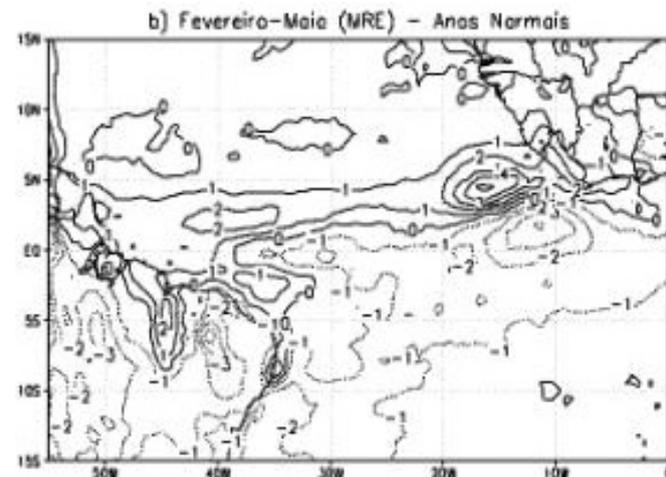
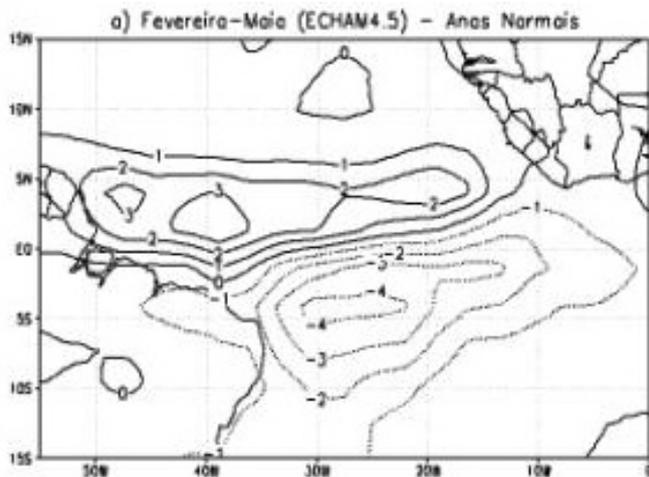
	EMQE	EMQMRE	BiasE	BiasMRE	Dpo	DPE	DPMRE	rE	rMRE
Fev	1,45	2,65	1,54	2,26	1,49	1,20	1,62	0,43	0,24
Mar	1,73	1,93	0,54	0,58	1,75	1,31	1,39	0,31	0,40
Abr	1,66	2,70	-0,07	0,67	1,88	1,28	1,64	0,74	0,76
Mai	0,77	4,72	-0,06	5,19	0,96	0,87	2,17	0,61	0,68

Tabela 3: Escores estatísticos entre a precipitação observada e a simulada pelos modelos ECHAM4.5 e o MRE para o SNNEB (45°W,37°W e 12°S,2°S) para os meses de fevereiro a maio (1971-2000). EMQ (erro médio quadrático - mm/dia), Bias (mm/dia), Dpo (desvio padrão observado - mm/dia), DP (desvio padrão simulado - mm/dia), r (coeficiente de correlação). As letras E e MRE significam simulações do ECHAM4.5 e do MRE. Os coeficientes de correlação em negrito são significativos a 95% segundo Teste t Student.

A Tabela 3 mostra alguns escores estatísticos calculados entre as simulações do ECHAM4.5 e do MRE e a precipitação observada no SNNEB (45°W,37°W e 12°S,2°S) para os meses de fevereiro a maio (1971-2000). Quantitativamente o bias e o erro médio quadrático nas simulações do ECHAM4.5 são menores mensalmente do que as obtidas nas simulações do MRE. Os valores do coeficiente de correlação foram superiores a 0,7 para o mês de abril em ambas as simulações. Comparados aos resultados de Druyan *et al.* (2002) que investigaram os resultados da previsão de um *downscaling* dinâmico para uma área do NEB (40,5°W,33,5°W e 2,5°S, 12,5°S) para o trimestre março, abril e maio de 1985, 1997 os resultados de erro médio quadrático e coeficientes de correlação apresentaram valores próximos, principalmente os valores desse último parâmetro nos meses de março e abril. É claro, tais comparações devem ser feitas com cautela, pois no estudo de Druyan *et al.* (2002) o *downscaling* usou um MCGA e um modelo regional diferente dos utilizados no estudo em questão, e apenas 2 anos de análises. Enquanto, aqui se fez uma análise da simulação de trinta anos de dados.

A Figura 9 mostra uma comparação do posicionamento

da banda de precipitação da ZCIT no Atlântico Tropical (período fevereiro a maio) simuladas pelo ECHAM4.5 e MRE comparadas aos dados de Xie e Arkin (1996) para os anos considerados normais, de La Niña e El Niño (Tabela 2). É importante mencionar, que a comparação entre as figuras simuladas pelo MRE e as obtidas pelos dados de Xie e Arkin (1996), deve ser feita com precauções, e atentar principalmente para a comparação qualitativa, pois as resoluções espaciais desses dados e do MRE são bem diferentes, da ordem de 500 km e 60km. Qualitativamente, tanto o ECHAM4.5 quanto o MRE simularam aproximadamente o posicionamento da banda de precipitação associada a ZCIT no Atlântico Tropical nos anos Normais, de La Niña e de El Niño. Nota-se nas figuras que o ECHAM4.5 conseguiu simular melhor quantitativamente a variação das chuvas associada a ZCIT sobre o Atlântico Tropical e proximidades da costa do NEB, quando se compara seu valor simulado aos dados de Xie e Arkin (1996). O MRE para a composição de todos os anos apresentados, em geral, subestimou os valores obtidos em Xie e Arkin (1996), tanto nas áreas de precipitação acima como abaixo da climatologia.



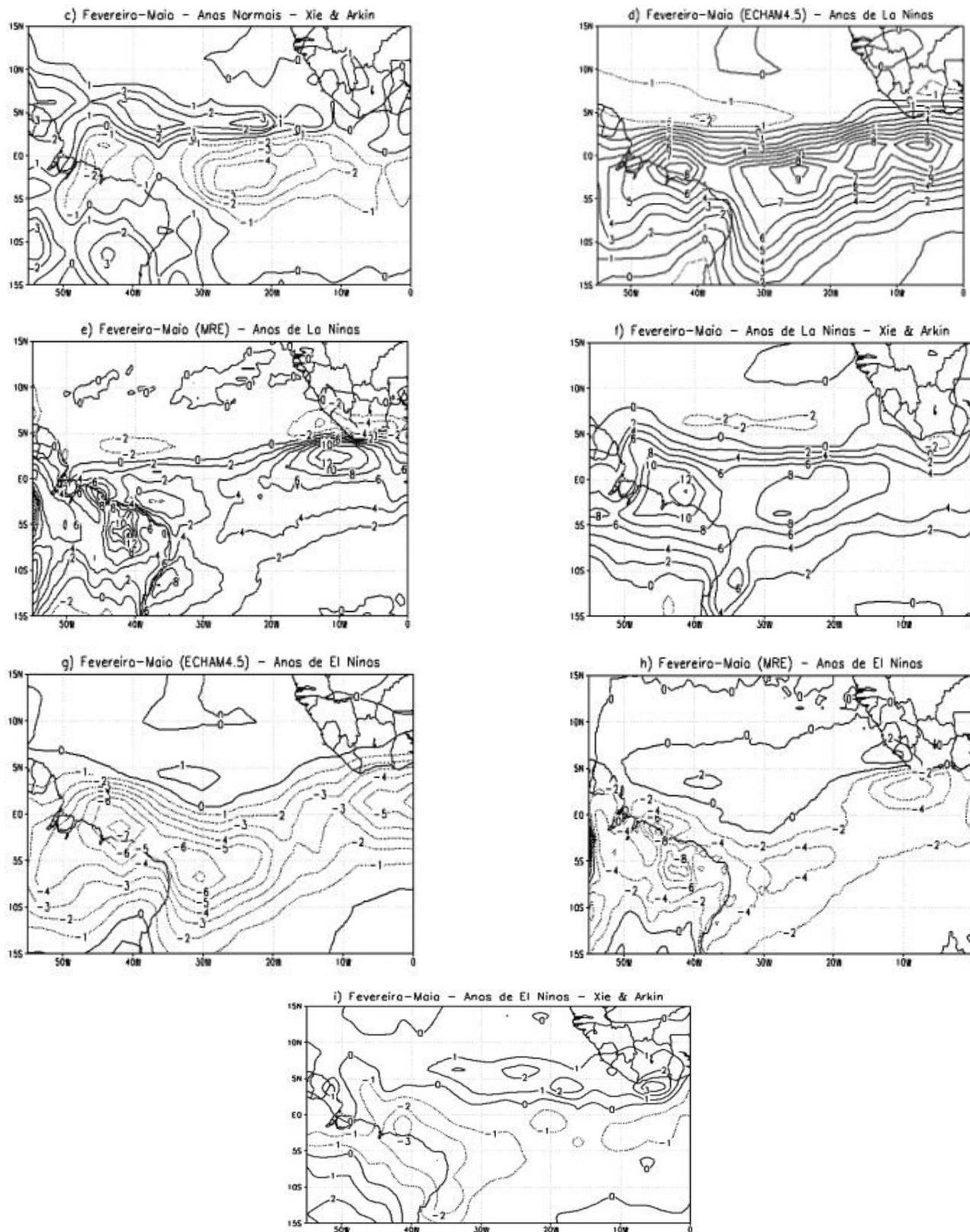


Figura 9: Anomalia da banda de precipitação (mm/dia) associada a ZCIT no Atlântico Tropical (fevereiro a maio). a) *ECHAM4.5* anos normais, b) MRE anos Normais, c) Xie e Arkin anos normais, d) *ECHAM4.5* anos de La Niña, e) MRE anos de La Niña, f) Xie e Arkin anos de La Niña, g) *ECHAM4.5* anos de El Niño, h) MRE anos de El Niño e i) Xie e Arkin anos de El Niño. As anomalias das simulações do *ECHAM4.5* e do MRE foram calculadas em função da média (1971-2000) de suas simulações. Para Xie e Arkin (1996) as anomalias foram calculadas em função de sua média (1979-2000).

Foi feita uma comparação entre a circulação em 1000 hPa, média para FM (1971-2000), simulada pelo *ECHAM4.5* e o MRE e a obtida pela re-análise do *NECP/NCAR* para a região do Atlântico Tropical (Figuras não mostradas). Pouca diferença entre as simulações do *ECHAM4.5* e do MRE foi observada, exceto na bacia do Atlântico Tropical Sul onde os ventos simulados pelo MRE foram inferiores aos simulados pelo *ECHAM4.5*. Comparados os dados de re-análises as simulações do *ECHAM4.5* e do MRE apresentaram configurações também parecidas em magnitudes, exceto os ventos de oeste que sopram a leste de 20°W, entre 5°S e 10°N, cujas intensidades nas simulações do *ECHAM4.5* e MRE foram muito superiores as da re-análise.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados nesse estudo permitiram a seguintes conclusões: simulações de chance de acerto em três e cinco categorias de percentis de precipitação (S, N, C e MS, S, N, C e MC) mostraram que o MRE teve melhor desempenho do que o *ECHAM4.5* nessa região do NEB. A simulação do MRE apresentou maiores correlações do que a do *ECHAM4.5* com o total de chuva de FM no setor norte do NEB (valores superiores a 0,8, explicando mais de 64% da chuva desse período nessa região) apenas em uma área isolada entre os estados do Ceará e Piauí. O *ECHAM4.5* apresentou um predomínio de um *bias* seco sobre o SNNEB, enquanto o MRE mostrou um *bias* úmido em a grande parte do NEB, intensificando-o no setor ocidental do norte do NEB. Aparentemente, esse excesso de chuva no período FM sobre NEB simulada pelo MRE se deve ao mês de maio, onde o MRE excedeu a chuva observada no NEB, em todos os seus membros. Na parte mais oriental do NEB o *bias* da simulação do MRE foi um pouco menor do que o da simulação do *ECHAM4.5*.

Uma comparação dos termos de variância relativa à simulação do MRE devido ao ruído atmosférico (em função do número de membros simulados) e ao sinal (condição de contorno - TSM), não mostrou diferença significativa; o que sugere que o número de membros parece ser pequeno para exemplificar essa diferença que é clara em áreas tropicais do Oceano Pacífico (Shukla *et al.*, 2000). A comparação mensal interanual (meses de fevereiro a maio) mostrou pouca diferença entre a simulação de precipitação pluviométrica dos membros, suas médias, e o observado para o SNNEB entre o *ECHAM4.5* e o MRE, exceto no mês de maio (final da estação) em que o desempenho do *ECHAM4.5* foi superior ao MRE.

Simulações da banda de precipitação associada a ZCIT no Atlântico Tropical em anos Normais, de La Niña e El Niño mostraram que quantitativamente o *ECHAM4.5* teve melhor desempenho do que o MRE. O MRE simulou a ZCIT mais ao sul do que sua posição observada consistente com estudos anteriores de *downscaling* (Misra *et al.*, 2003 e outros). Quanto à circulação atmosférica em 1000 hPa houve uma semelhança entre as configurações do *ECHAM4.5* e o MRE, sobre o Atlântico Tropical e vizinhanças, comparadas aos dados

das re-análises, apesar do MRE simular fortes ventos de oeste a leste de 20°W, entre 5°S e 10°N, que não aparecem nos dados das re-análises.

Ainda há uma lacuna muito grande quanto aos ganhos de acoplamentos entre MCGAS e modelos numéricos regionais, embora uma série de estudos para algumas áreas do globo tenha apresentados resultados promissores dessa técnica em descrever as características de meso e micro-escalas de variáveis atmosféricas. Entretanto, esses são em grande parte estudos de casos e restritos a determinados anos (Giorgi e Marinucci, 1996; Giorgi e Mearns, 1999 e Fulakeza *et al.*, 2002). Para o NEB ainda há poucos estudos na literatura meteorológica para se fazer comparações entre os resultados aqui apresentados, principalmente com um número de anos extenso de simulações como é o caso das disponíveis na FUNCEME.

Em geral, pelos resultados apresentados, o MRE não conseguiu superar expressivamente a qualidade da simulação produzida pelo modelo global. É importante ressaltar, esse contexto, porquê no estudo de Sun *et al.* (2005), com o uso de outros parâmetros de avaliação, não usados aqui nesse estudo, entre os resultados obtidos pelos *ECHAM4.5* e pelo MRE, para o mesmo período de 1971-2000, ficou claro um melhor desempenho do MRE na simulação da distribuição de chuva no NEB e no estado do Ceará.

Para estudos futuros sugere-se uma comparação de outros MCGAS e seus acoplamentos com o MRE para investigar se seus resultados advindos do *downscaling* são melhores quantitativamente sobre o setor norte do NEB, além de que se deve simular esses 30 anos em modo de previsão usando a TSM prevista ou persistida para que os resultados aqui apresentados também possam ser comparados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as críticas e sugestões dos dois revisores da RBMET, as quais foram importantes para o aprimoramento científico do artigo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. M.B. et al. Uma aplicação da técnica de *downscaling* dinâmico no setor norte da Região Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Meteor.*, v.18, n.2, p.161-180, 2003.
- BÖHM, U. A.; PODZUM, R. B.; JACOB, D. C. Surface water balance estimation for a semi-arid region using a regional climate model and comparison of water balance components with global circulation model output and analysis data. *Phys. Chem. Earth.* v.23, n.4, p.405-411. 1998.
- CAVALCANTI, I. et al. Global climatological features in a simulation using the CPTEC/COLA AGCM. *J. Climate*, v.15, no.21, p.2965-2988. 2002.

- CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B. and CAVALCANTI, I. F. A. Extend range forecast over South America using the regional eta model. *J. Geophys. Res.* 105, d8, 10.147-10160. 2000.
- CLAUSSEN, M. U. et al. *A global data set of land-surface parameters*. Max Planck Institut für Meteorologie, Report n.135, Hamburg, Germany, 23pp. 1994.
- DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M. et al. A regional climate model for the western U.S. *Climate Change*, 15, 383-422. 1989.
- FULAKEZA, M.; DRUYAN, L.; KRISHNAMURTY, T. A simple soil moisture scheme for climate simulations in the tropics. *Meteor. Atmos. Phys.*, v.79, n.34, p.105-126. 2002.
- DRUYAN, L. M.; FULAKEZA, M.; LONERGAN, P. Dynamic downscaling of seasonal climate predictions over Brazil. *J. Climate*, v.15, no.23, p.3411-3426. 2002.
- GALLUS, A. W. Jr. Eta simulations of three extremes precipitation events: Sensitivity to resolution and convective parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, v.14, n.3, p.409-426. 1999.
- GATES, L. W. et al. An overview of the results of the atmospheric model intercomparison project (AMIP I). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v.80, no.1, p.29-55. 1999.
- GIORGI, F.; BATES, G. T. On climatological skill of a regional model over complex terrain. *Mon. Wea. Rev.*, v.117, p.2325-2347. 1989.
- GIORGI, F. On simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *J. Climate*, v.3, n. 941-963. 1990.
- _____, MARINUCCI, M. An investigation of the sensitivity of simulate precipitation to model resolution and its implication for climate studies. *Mon. Wea. Rev.* v.124, n.34, p.148-146. 1996.
- _____, MEARNS, L. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *J. Geophys. Res.* v.104, n.15, p.6335-6352. 1999.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Q. J. Roy Meteor. Soc.*, v.103, p.77-92. 1977.
- HASTENRATH, S. Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, v.3, p.893-904, 1990.
- HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Geophys. Res.*, v.98, n.d, p.5093-102, 1993.
- HONG, S. -Y.; PAN, H. -L. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, v.124, p.2322-2339. 1996.
- IREDELL, M.; PURSER, J. *A local diffusion to control advective numerical instability in the NMC global spectral model*. Preprints, 11th Conf. on Numerical Weather Prediction, Norfolk, VA, Amer. Meteor. Soc., 22-23. 1994.
- JI, Y; VERNEKAR, A. Simulation of the Asian summer Monsoons of 1987 and 1988 with a Regional Model nested in a global MCGA. *J. Climate*, 8, v.10, p.1965-1979. 1997.
- JUANG, H.-M. H.; KANAMITSU, M. The NMC nested regional spectral model. *Mon. Wea. Rev.* v.122, p.3-26. 1994.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-years reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v.77, p.437-471.
- KANAMITSU, M. 1989. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. *Wea. Forecast.*, v.6, 425-435. 1999.
- _____, et al.. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Wea. Forecast.*, v.6, p.455-435. 1991.
- _____, S.-Y.; HONG. The NCEP regional spectral model: An update. *Bull. Amer. Socie.* v.78, v.10, p.2125-2143. 1997.
- _____, et al. 2002. NCEP dynamical seasonal forecast system 2000. *Amer. Meteor. Soc.*, v.83, p.1019-1037. 2002.
- LOUIS, J. -F.; J. TIEDTKE; -F. GELEYN. *A short history of the PBL parameterization at ECMWF*. Proceedings of the ECMWF Workshop on Planetary Boundary Layer Parameterization. November. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, England, p.59-80. 1981.
- MASS, C. F. et al. Does increasing horizontal resolution produce more skilful forecast. *Bull. Amer. Socie.* v. 83, n.3, p.407-430. 2003.
- MECHOSO, C. R.; S. W. LYONS; J. A. SPHAR. The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. *J. Climate*, v.3, p.812-826. 1990.
- MISRA, V.; DIRMEYER, P. A.; KYRTMAN. Dynamic downscaling of seasonal simulations over South America. *J. Climate*, v.16, n.1, p.103-117. 2003.
- MOURA, A.D.; J. SHUKLA. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Jour. Atmos. Scie*, v7,n., p.2653-2675. 1981.

- NOBRE, P.; J. SHUKLA. Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical over the tropical Atlantic and South America. *J. Climate*, v.10, n., p.2464-2479. 1996.
- NOBRE, P.; A. D. MOURA.; L. SUN. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP'S Regional Spectral Model at IRI. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* v.82, p. 2787-2796. 2001.
- PAN, H. -L.; L. MARTH. Interaction between soil hydrology and boundary layer development. *Bound. Layer Meteor.*, v.38, p.185-202. 1997.
- PAN, H. -L.; W. -S. WU. *Implementation a mass flux convective parameterization package for the NMC medium-range forecast model*. Preprints, 10th Conf. on Numerical Weather Prediction, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc., p. 96-98. 1994.
- ROECKNER, E. and Coauthors. *The atmospheric general circulation model ECHAM4: model description and simulation of the present-day climate*. Max Planck Institut für Meteorologie, Report n.28, Hamburg, Germany, p90. 1996.
- REYNOLDS, R.W.; SMITH, T. M. Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *Journal of Climate*. v.7, n.6, p.929-948. 1994.
- REPELLI, C. A.; J. M. B.; ALVES. O uso de Análise de Correlações Canônicas para Prognosticar a Variabilidade Espacial da Precipitação sobre o Nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Meteor.*, v.11, n., p.67-75. 1996.
- ROADS, J. et al. International Research Institute/Applied Research Centers (IRI/ARCs) regional model intercomparison over South America. *J. Geophys. Res.*, vol.108, No. D14, 4425, doi:10.1029/2002JD003201, 2003.
- ROJAS, M; SETH, A. Simulations and sensitivity in a nested modeling system for South America. Part II: GCM boundary forcing. *J. Climate*, v.16,n.15, p.2454-2471. 2003.
- SUN, L.; N. GRAHAM, 2001. Climate simulation over East Africa using the NCEP Regional Spectral Model. *Submitted to J. Geophys. Res.*
- SUN, L. et al. Climate downscaling over Nordeste Brazil using NECP RSM97. *J. Climate*. v.18, n.15, p. 551-567. 2005.
- SPIEGEL, M. R. 1985. *Estatística*. Schaum McGraw-Hill. 2ª Edição, 454.
- SETH, A.; ROJAS, M. Simulations and sensitivity in a nested modeling system for South America. Part I: Reanalyses boundary forcing. *J. Climate*, v.16, n.15, 2437-2443. 2003.
- TANAJURA, C. A. S. et al. A influência do domínio e da resolução na simulação do modelo ETA da passagem de uma frente fria sobre o sudeste brasileiro. *Rev. Bras. Meteor.*, v.18, n.1, p.33-42, 2003.
- TANAJURA, C. A. S. *Modeling and analysis of the South American summer climate*. 1996, 176f. Dissertation (Ph.D) Dept. of Meteorology, University of Maryland, College Park.
- TANAJURA, C. A. S.; SHUKLA, J. *Modeling the effects of the Andes on the South American summer climate, Center for ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA)*. Tech. Rep., v.83, p.44, 2000.
- TEIXEIRA, F. V. B.; TANAJURA, C. A. S.; TOLEDO, E. M. An investigation of the ZCAS with extend simulations of the atmospheric model RAMS. *Rev. Bras. Meteor.*, v.17, n.1, p.83-89, 2002.
- TIEDTKE, M. A. comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. *Mon. Wea. Rev.* v.117, n., p.1779-1800. 1989.
- WARD, M. N.; FOLLAND, C. K. Prediction of seasonal rainfall in the north nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. *Int. J. Clim.*, v.11, p.711-43. 1991.
- WARNER, T. T.; PETERSEN, R. A.; RUSSEL, E. T. A Tutorial on lateral boundary conditions as a basic and potentially serious limitation to regional numerical weather prediction. *Bull. Amer. Socie.* v.78, n.11, p.2599-2617. 1997.
- XI, P. P.; ARKIN, P. A. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellites estimates, and numerical model predictions. *J. Climate*, v9, p.840-858. 1996.
- XAVIER, T. de Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S. *Quantis para séries pluviométricas do Estado do Ceará e caracterização de períodos secos ou excepcionalmente chuvosos: 1964-1998*. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Fortaleza. Ceará., p. 33. 1998.
- XAVIER, T. M. B. S. et al. Previsão regional de chuva para o Estado do Ceará através do projeto "Tempo de Chuva": 1964-1999. *Rev. Brasil. Recur. Hídri.*, v.5, p.69-92. 2000.