

MODELAGEM ATMOSFÉRICA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Ana Paula Lima Marques da Silva¹, Isimar de Azevedo Santos², Otto Corrêa Rotunno Filho³, Afonso Augusto Magalhães de Araújo⁴

¹ Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente COPPE/ UFRJ, Caixa Postal 68540 – CEP 21945-970. Rio de Janeiro, RJ. apaula@hidro.ufrj.br

² Departamento de Meteorologia – CCMN, CEP 21945-970. Rio de Janeiro, RJ. isimar@acd.ufrj.br

³ Laboratório de Hidrologia Estudos do Meio Ambiente COPPE/ UFRJ, Caixa Postal 68540 – CEP 21945-970. Rio de Janeiro, RJ. otto@hidro.ufrj.br

⁴ Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente COPPE/ UFRJ, Caixa Postal 68540 – CEP 21945-970. Rio de Janeiro, RJ. afonso@hidro.ufrj.br

ABSTRACT

The regional numerical models are assuming importance in meteorological and hydrological studies, due to their capacity of treating adequately the local physical characteristics. In this framework, the model RAMS is greatly used abroad and in demanding suitable modifications to assimilate the characteristics of the area in which it is being applied. The permanent need to adjust the model RAMS to better understand the effects that interact with the atmosphere, has motivated several researchers to work with this model in the last years. The present work aims to develop a preliminary analysis of meteorological parameters over the Northeast area of Brazil, emphasizing the San Francisco river watershed.

Palavras-Chave – Modelos regionais, parâmetros climáticos, rio São Francisco

INTRODUÇÃO

Uma das razões do subdesenvolvimento do semi-árido no nordeste brasileiro (NE) é a existência do desequilíbrio significativo entre o número de habitantes, o espaço ocupado e a tecnologia adotada para a sustentabilidade econômica e social da região. As grandes aglomerações urbanas, sem o apoio de um adequado planejamento, contribuem para a degradação de vários recursos naturais. Nesse contexto, o estudo do ciclo hidrológico na atmosfera é muito importante. O trabalho de Peixoto e Ort (1992) mostrou que a distribuição de água no globo, nos três reservatórios básicos (oceanos, continentes e atmosfera), totaliza o volume de $1350 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$, do qual cerca de 97% está contido nos oceanos, 2,4% encontra-se nos continentes, incluindo as regiões glaciais Ártico e Antártica, e somente 0,001% está na atmosfera. Apenas 1% de toda a água do planeta está disponível para uso, armazenada nos lençóis subterrâneos, lagos, rios e na atmosfera. Os homens, beneficiários do ciclo hidrológico, são frequentemente afetados por variações locais no tempo, como secas e cheias, ou bem como pela distribuição especial irregular na água por solicitarem esse recurso natural em regiões onde esse não ocorre de forma desejada.

O problema da seca no nordeste refere-se à má distribuição do regime pluviométrico, onde a variação de ano para ano da intensidade da chuva é muito grande, podendo chover poucas vezes, mas com altas intensidades, ou então, apresentar baixíssimas intensidades durante um longo período de tempo.

Os modelos numéricos são fundamentais para estudos climatológicos. As informações meteorológicas de grande escala dependem de modelos globais; por outro lado, os modelos regionais oferecem facilidades na caracterização do problema a ser analisado.

O presente estudo tem como objetivo analisar características meteorológicas, nos meses de abril e novembro, na região da bacia do rio São Francisco, através do modelo regional de mesoescala RAMS (“Regional Atmospheric Modeling System”). Mais especificamente, são abordadas as seguintes variáveis físicas: topografia, velocidade do vento, e umidade específica do ar.

MODELOS GLOBAIS E REGIONAIS

Dickson et al. (1989) afirmam que os modelos regionais vêm cada vez mais, tornando-se atraentes para simulações e previsão de clima, pois através de alta resolução podem substancialmente melhorar a qualidade da solução numérica. Isto pode ser atingido não só pela redução de erros numéricos, como também pela melhor representação das condições de contorno e de processo de mesoescala.

Cotton et al. (1994) comentam que os modelos numéricos de previsão de tempo de grande escala (MCG), permitem previsões de até 6 dias, porém devido ao grande espaçamento dos pontos de grade, somente os sistemas de escalas sinótica ou maiores são bem representativos pelo modelo. Sistemas meteorológicos de mesoescala formados oceano-atmosfera, cobertura superficial de diferentes características são bem representados pelos MCGs. Os autores acoplaram as MCGs alguns modelos numéricos para melhorar na previsão de tempo.

Grimm e Silva Dias (1995) analisando as interações trópico–extratropical com forçantes associadas a anomalias convectivas em escala planetária, usando um modelo barotropical de vortacidade. Em eventos de El Niño, os autores deram ênfase a fontes convectivas tropicais, como também nas oscilações 30-60 dias. Permitiram estabelecer elos de ligação da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZACAS) e de padrões atmosféricos do Atlântico e do Continente Eurasiano com eventos ENOS e com oscilações de 30-60 dias.

Tanjura (1996) modelou o clima de verão na América do Sul, realizando experimento montanha/não-montanha utilizando o modelo regional Eta aninhando ao modelo de circulação Geral cola. Foram realizadas integrações de três meses, nas quais o modelo regional era reinicializado a cada 30 horas ou 48 horas. As simulações obtidas foram em vários aspectos mais realistas que as produzidas pelo modelo global.

Repelli e Nobre (1996) utilizaram modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA) para prever anomalias pluviométricas e de temperatura, de várias regiões do Brasil, com dois a três meses de antecedência. Utilizaram a metodologia de Análise de Correlações Canônicas (ACC) com um pré-filtro de funções ortogonais empíricas sobre os dados do preditor e do preditando. A vantagem do uso desta técnica está no fato de a mesma possibilitar a busca de padrões de oscilação entre dois ou mais campos físicos, encontrando equações prognósticas para se construir o modelo preditor. A validação do sistema de modelagem estatística dos oceanos (SIMOC) foi feita a partir de vários testes de desempenhos, que consistem em comparações dos campos de TSM observados e com anomalias persistidas de TSM. Os autores concluíram que altos coeficientes de correlação > 0.6 para o Hemisfério Norte para previsões feitas a

partir de dezembro, fevereiro, março e abril. Para o Hemisfério Sul, os coeficientes de correlação giraram em torno de 0.3 a 0.5. Assim sendo, os autores afirmam que as estatísticas utilizadas foram coeficientes de correlação RMSE. O melhor desempenho foi utilizando a TSM como parâmetro preditor.

Silva Dias (1997) estudou a importância dos modos lentos usando um modelo de água rasa linearizando em relação a um estado básico em repouso sobre um plano β equatorial, e demonstrou que o vetor de estado da atmosfera, esta comumente sobre a variedade lenta. As razões seriam: a rápida dispersão de energia associada aos modos de alta frequência, por terem alta velocidade de grupo; os processos dissipativos tendem a transferir energia preferencialmente para os modos lentos; a conversão não linear de energia se dá dos modos barotrópicos rápidos para os modos baroclínicos internos lentos; o aquecimento associado com a precipitação age como um sumidouro de massa, do ponto de vista das equações da água rasa, isto é, o aquecimento é proporcional à divergência do fluxo.

Campos et al. (1999) comentam que a região de maior variabilidade na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na costa leste da América do Sul é a do encontro das correntes do Brasil e Malvinas. A região de confluência é caracterizada por um intenso gradiente de temperatura. Devido ao deslocamento sazonal e interanual dessa região, grandes anomalias de TSM são observadas. Todos os efeitos da TSM do Atlântico no clima da América do Sul, ainda estão pra ser descobertos.

Pan et al (1999) realizou um estudo da sensibilidade de um modelo regional aos efeitos de reinicialização. Para isto, foi feita uma integração de um mês sem reinicialização do modelo, como caso de controle. Em seguida, realizaram-se alguns conjuntos de integrações para períodos menores com reinicializações do modelo. Comparando os resultados dos experimentos com dados observados notou-se que a simulação de 30 dias consecutivos foi a que apresentou melhor resultado.

Aplicações do Modelo RAMS

Hallak e Dias (1996) estudaram o modelo numérico de área limitada RAMS na versão 3b. Os autores tiveram um exemplo de aplicação para o dia 7/8/96 provenientes do prognóstico de 24 horas do CPTEC e RAMS. Operaram paralelamente ao processo de previsão regional, utilizando as análises e previsões do modelo global do CPTEC, permitindo a constante assimilação dos arquivos globais do CPTEC como condição de contorno, evitando impacto da assimilação das análises em todo domínio de integração. Os autores concluíram que o ciclo corrigiu as condições iniciais do RAMS, e que as diferenças entre os campos, além do claro aumento de resolução do RAMS em relação ao CPTEC, apareceram na morfologia dos vórtices.

Prates e Dias (1996) realizaram duas simulações numéricas, através do modelo RAMS, para o estado de Minas Gerais e fronteiras, usando na primeira, a inicialização homogênea, na qual todos os pontos de grade horizontal assumem o mesmo valor e na segunda simulação, a inicialização do modelo é feita da forma não homogênea ou variada, caso em que cada ponto da grade assume valor característico. Para inicialização variada, utilizaram dados gerados por um modelo de circulação geral da atmosfera, dentre os quais, retiraram uma suposta sondagem vertical para proceder à simulação com simulação homogênea. Compararam alguns parâmetros simulados entre o início da integração numérica e 24 horas após. Na simulação, com inicialização

homogênea, a evolução dos sistemas forçados pelas condições locais foi melhor evidenciada, refletindo o efeito da topografia e divergência no interior do vale. Para simulação com inicialização variada, a precipitação acumulada em 24 horas, apresentou maior proximidade com a distribuição espacial observada.

Costa et al. (1998), propõem o uso de modelos regionais na previsão de tempo, e como o mesmo, pode ser influenciado pela cobertura vegetada, e tipo de solo, foram feitas 3 simulações com o RAMS, o qual foi iniciado em 00:00 TMG 13 fev/98. A primeira, usando cobertura vegetal e um tipo de solo homogêneo, na segunda usaram um arquivo que representa a vegetação vários tipos de textura do solo. O RAMS inclui parametrização para processos de superfícies, convecção e turbulência na camada limite.

Donner (1998) propõe um procedimento de inversão na parametrização de cúmulos de Kuo, levando o ajustamento dos campos da temperatura e da umidade de tal modo que, a parametrização de cúmulos produza um perfil diagnóstico de aquecimento, incluindo sua estrutura vertical para um campo de velocidade especificado.

Cavalcanti et al. (1998) realizaram um experimento numérico com o modelo RAMS, para avaliar a precipitação ocorrida na Paraíba, para os dias 29, 30 e 31 de maio de 1996. Nesses dias, observaram a atuação de um sistema convectivo de mesoescala, atuando na parte leste do estado. Na inicialização não homogênea, foram usadas as reanálises do NCP. Os autores concluíram que as comparações entre a precipitação simulada e observada, indicaram que o modelo RAMS foi capaz de simular muito bem a distribuição espacial da precipitação, mas em relação à quantificação, o modelo subestimou os valores observados.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para melhor descrever os parâmetros meteorológicos selecionados, faremos uma breve descrição da região nordeste, que abrange a bacia do rio São Francisco, em seus aspectos hidrológicos relevantes. Essa região está situada abaixo do Equador, entre 4° e 16° de latitude sul e 33° e 46° de longitude oeste. Representando cerca de 18% do território brasileiro, está dividida em 9 estados.

A região nordeste é considerada uma região anômala nos continentes tropicais, porque, em contraste com outras regiões, essa faixa latitudinal, apresenta um clima semi-árido, o qual é devido aos valores relativamente baixos de precipitação sobre a maior parte da região. As áreas costeiras, na costa atlântica leste, recebem um total de chuvas superior a 1500 mm/ano, enquanto que, para grandes áreas do interior, o total não ultrapassa de 400 mm/ano. Efeitos tais como albedo da superfície e características topográficas podem contribuir para acentuar condições de seca, causada pela circulação geral da atmosfera. Diferentes regimes de chuvas são identificados no NE. No norte da região, a estação chuvosa principal vai de março a maio. No sul e sudeste, ocorre principalmente durante o período de dezembro a fevereiro e, no leste, a estação chuvosa é de maio a julho. Tem sido mostrado (Moura e Shukla, 1981) que as variações interanuais de chuvas no leste do NE podem ser atribuídas às anomalias na posição e intensidade da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), causadas por gradientes anômalos na temperatura da superfície do mar do Atlântico e pela ocorrência do fenômeno El Niño no Pacífico Equatorial (Nobre, 1994).

Quanto ao relevo, sua porção oriental é construída pelas superfícies tabulares e pelas chapadas cristalinas, como a Borborema e Diamantina. O nordeste cristalino estende-se do sul da Bahia ao Ceará, prolongando-se até o sudeste do Piauí, enquanto o Planalto Borborema constitui-se na mais importante formação topográfica. As depressões de maior destaque estão ao longo do percurso do rio São Francisco, especialmente na Bahia e em Pernambuco.

As bacias hidrográficas do nordeste brasileiro correspondem a 18% das bacias brasileiras. O maior destaque é o rio São Francisco, também conhecido como rio da unidade nacional, com 2800 km de extensão. Nasce em Minas Gerais, na serra da Canastra, e desemboca no Oceano Atlântico, entre Sergipe e Alagoas. Apresenta estirões navegáveis em Juazeiro-BA, Piranhas-AL e na foz, no Oceano Atlântico. A bacia do São Francisco ocupa uma superfície de 640.000 km², o que corresponde a aproximadamente 7,52% do território nacional. Da área da bacia, aproximadamente 85% pertence aos estados da Bahia e Minas Gerais, 14% aos estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe, estando o restante distribuído entre o estado de Goiás e o Distrito Federal. A população da bacia é de aproximadamente 15 milhões de habitantes, estando distribuída em 503 municípios.

Na área de estudo, para a geração de energia, estão situadas as seguintes hidrelétricas: Paulo Afonso I, II e III; Luiz Gonzaga, Sobradinho, Xingo e Apolônio Sales.

METODOLOGIA

O modelo regional RAMS (“Regional Atmospheric Modeling System”) foi desenvolvido na Universidade do estado de Colorado para simulação e previsão de diversos fenômenos atmosféricos. Esse modelo surgiu de duas linhas de pesquisa: uma na parte de modelagem de sistemas dinâmicos, de microescala e de processos microfísicos; e a outra na parte de modelagem de sistemas de mesoescala e na influência da superfície da terra sobre as características da atmosfera. Esses esforços foram somados com o objetivo de gerar um modelo mais completo (Pielke, 1992).

O RAMS é composto de três grandes componentes: o modelo em si, um pacote de assimilação de dados e outro pacote que permite a interface com o código computacional de visualização. Toda codificação é feita em linguagem FORTRAN 77.

Descrição do Modelo

Nesse estudo, foi utilizada a versão RAMS_3b com as seguintes características:

- as variáveis prognósticas são: as componentes do movimento do ar (u,v,w), π' , perturbação da função de Exner, (π); θ_{il} , temperatura potencial da água líquida sobre o gelo e r_l , que representa as formas de água líquida e de gelo consideradas (Tripoli e Cotton, 1982); a função de Exner é dada por

$$\pi = c_p \left(\frac{p}{p_s} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1)$$

- o modelo é composto das equações do movimento, da termodinâmica, da continuidade de massa e da continuidade para a substância água;

- o RAMS resolve suas equações de derivadas parciais, discretizando-as por diferenças finitas; nas derivações horizontais é usada uma grade, opcionalmente retangular ou quadrada, do tipo “C” de Arakawa, isto é, todas as variáveis escalares são definidas nos nós de grade, enquanto que as componentes da velocidade u , v e w são definidas nos pontos intermediários $\frac{\delta x}{2}$, $\frac{\delta y}{2}$ e $\frac{\delta z}{2}$;

o trabalho de Arakawa e Lamb, (1981) mostrou que as coordenadas cartesianas são utilizadas na horizontal, com $x^* = x$ e $y^* = y$.

- na vertical, o RAMS usa a coordenada transformada por σ_z

$$\sigma_z = H \frac{(z - z_g)}{H - z_g} \quad (2)$$

onde H é a altura do topo da grade e z_g é a elevação do terreno;

- o RAMS usa modelos de solo e de vegetação, parametrizando separadamente e prognosticando os processos térmicos e hídricos, tanto na camada vegetada quanto numa camada de solo onde a profundidade é especificada; cada área de grade é dividida em três classes distintas : água, solo nu e superfície vegetada; para o solo nu, usa um modelo de solo de múltiplas camadas (McCumber e Pielke, 1981), que envolve equações prognósticas para a temperatura e a umidade do solo. A temperatura do solo é obtida pela equação do balanço de energia à superfície. Em uma superfície vegetada, ou seja, em uma superfície sombreada pela vegetação, o cálculo da temperatura e da umidade do solo depende da transmissividade da camada de vegetação e da temperatura do dossel. É usada a equação do balanço de energia à superfície para o cálculo da temperatura e da umidade, levando-se em consideração os processos radiativos inerentes à camada de vegetação (Avisar e Pielke, 1989);

- o modelo trata as radiações de onda curta e onda longa através de modelos que levam ou não em conta a presença de água condensada na atmosfera; no caso de radiação de onda curta, é avaliado empiricamente o espalhamento pelo oxigênio, ozônio e dióxido de carbono; quanto às nuvens utiliza-se o modelo de Chen e Cotton (1983);

- a parametrização de convecção profunda segue uma formulação simplificada, baseada no esquema de equilíbrio convectivo proposto por Kuo (1974), onde a convecção atua para eliminar a instabilidade condicional gerada por efeitos da grande escala e da evaporação local;

- a parametrização de microfísica no modelo de Walko et al. (1995), calcula as fontes e sumidouros das diferentes categorias de hidrometeoros: vapor, gota de nuvem, chuva, “pristine”, neve, agregados, “graupel” e granizo; as razões de mistura de vapor de água e gota de nuvem são diagnosticadas, enquanto que a razão

de mistura para as demais categorias são estimadas. São levados em consideração os diferentes processos microfísicos, como: colisão e coalescência, nucleação, sedimentação e conversão de uma categoria para outra; a obtenção de cristal de gelo e neve possibilitou contemplar outros processos na parametrização de microfísica, como, por exemplo, aqueles relacionados com o efeito radiativo nas nuvens cirros.

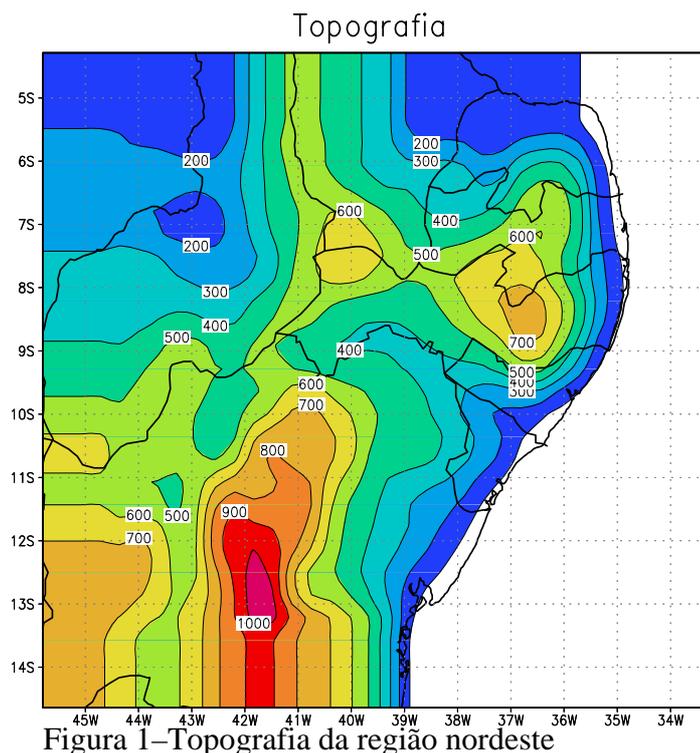
Dados Utilizados

Os dados de grande escala, utilizados para a simulação em menor escala através do RAMS, para o mês de abril, referem-se as reanálises do modelo global do Centro Nacional para previsão Ambiental (“National Center for Environmental Prediction” – NCEP). As variáveis utilizadas são: pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade específica do ar e componentes zonal e meridional do vento. O projeto reanálises do NCEP teve início em 1995, gerando uma base de informações de variáveis meteorológicas em pontos de grade. Diferentes observações foram utilizadas na geração das “reanálises”, dentre as quais se destacam: estações de superfície, navios, aeronaves, balões piloto, radiossondas, bóias e satélites (Kalnay et al., 1996).

Dentro dos propósitos estabelecidos neste trabalho, as reanálises tornaram-se a maneira mais racional para fornecer informações da grande escala ao modelo RAMS, uma vez que as mesmas apresentam regularidade, consistência física e dinâmica no espaço e no tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando a topografia de acordo com a simulação do modelo RAMS (Figura 1) abaixo, devem ser destacadas as regiões onde o relevo tem altitudes superiores a 600 m. Essa cota define os maciços mais importantes na região nordeste do Brasil.



As elevações topográficas correspondem à Chapada Diamantina na parte central do estado da Bahia e ao Espigão Mestre na parte oeste da Bahia. Na parte central da divisa de Pernambuco com o estado da Paraíba, temos o Planalto da Borborema. No sul do Ceará, encontra-se a Chapada do Araripe. Na fronteira do Ceará com o estado do Piauí, temos a serra da Ibiapara e a serra Grande.

A Figura 2 e a figura 3 referem-se aos ventos junto à superfície, médias para o mês de abril e novembro. É evidente a importância dos ventos alísios e sua difluência quando atingem o continente. Esses ventos levam a umidade desde o Atlântico até os continentes, mas são obstruídos pela presença da topografia local.

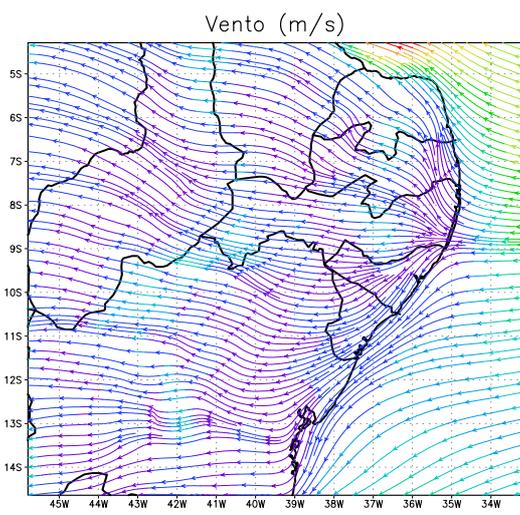


Figura 2–Representação do vento (m/s)

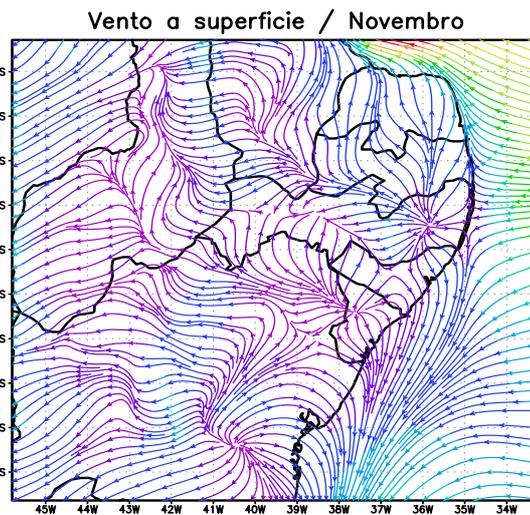


Figura 3–Representação do vento (m/s)

No campo de umidade (Figura 4 e Figura 5), observa-se: todo o litoral apresenta umidade específica elevada que vai se reduzindo substancialmente para o interior; o trajeto do rio São Francisco e a presença dos lagos artificiais induz a um ligeiro aumento na umidade disponível; a presença da Chapada Diamantina e da Borborema correspondem a mínimos na umidade.

Todos esses aspectos devem ser considerados no estudo do ciclo hidrológico na região do rio São Francisco e quanto a eventuais transposições de água.

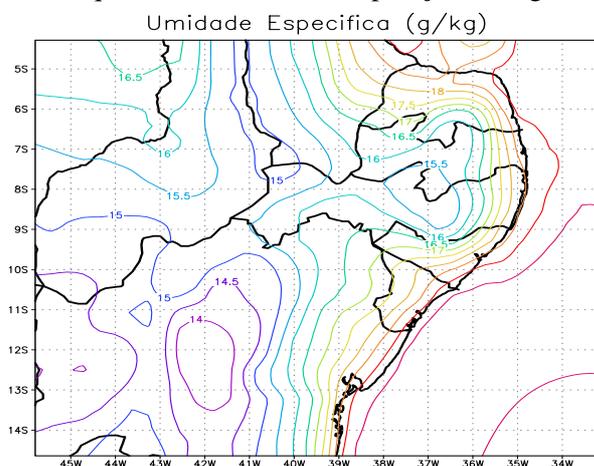


Figura 4–Umidade específica (g/kg)

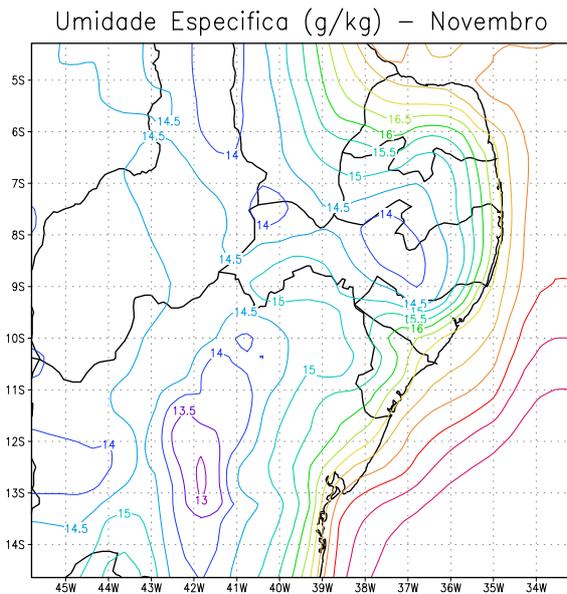


Figura 5 – Umidade específica no mês de novembro (g/kg)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa procurou caracterizar, de forma preliminar, o comportamento da topografia, velocidade do vento e umidade específica para a região nordeste. Com interesse especial na bacia do rio São Francisco, Os parâmetros meteorológicos estudados com o modelo RAMS foram para o mês de abril com as características climáticas desse período, como indicado no texto. É desejável obter os mesmos dados numa outra época climática, por exemplo, ao longo do mês de novembro. A comparação dos dois conjuntos de dados forneceria um instrumento valioso para uma interpretação mais próxima das características do ciclo hidrológico regional e das eventuais interferências do homem.

Entre as conclusões, destacam-se:

- o modelo caracterizou os aspectos topográficos, assim como delimitou a presença de bacias hidrográficas;

- o modelo RAMS permitiu analisar as características climáticas da região;

Os resultados obtidos pelo modelo RAMS têm grande importância, devido o modelo ser uma ferramenta de grande força, a ser estudada em estudos climatológicos e hidrológicos.

Finalmente como os experimentos hidrológicos, muitas vezes, requerem um custo técnico operacional elevado, a modelagem regional é uma ferramenta fundamental para suprir esse tipo de demanda, devido ao seu baixo custo.

AGRADECIMENTOS

- A FAPERJ (Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro)
- Ao Laboratório de Hidrologia pela estrutura didática científica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAKAWA, A.; LAMB, V. A potential enstrophy and energy conserving scheme for the shallow water equations. *Monthly Weather Review*. 109, 18-36. 1981.
- AVISSAR, R.; PIELKE, R.A. A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. *Monthly Weather Review*. 117, 2113-2136. 1989.
- CHEN, C.; COTTON, W.R. A one-dimension simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary Layer Meteorology*. 25, 289-321. 1983.
- CAMPOS, E. J.; GARZOTI, S.; NOBRE, P.; PIOLA, A. R.; TANAJURA, C.A.S. The south Atlantic and the climate. Observational and modeling needs. San Raphael. França. 18-22 de outubro. 1999.
- CAVALCANTI, E.P.; CEBALLOS, J.C.; VALADÃO, C. E.A. Vapor d'água sobre Campina Grande, Barbalha e Fortaleza, durante o experimento EMAS. *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. SBMET. 850-854.
- COSTA, P. N. F.; PRATES, J.E. Estudos de sensibilidade em relação a heterogeneidade da vegetação e solo usando o RAMS. Congresso Brasileiro de Meteorologia. SBMET. Brasília. 1998.
- COTTON, W.R.; THOMPSON, G.; WILEKER, P.W. Real Time mesoscale prediction on workstations. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 75, 349-362. 1994.
- DONNER, L.J. An initialization for cumulus convection in numerical weather prediction models. *Monthly Weather Review*. 116 (2). 377-385.
- DICKINSON, R. E., ENICO, R. M., GIORGI, P. e BATES, G. T. A regional climate model for the western U.S. *Climate Change*. 15, 383-422. 1989.
- GRIMM, A.M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of barotropic model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 52 (20). 3538 – 3555. 1995
- HALLAK, R.; DIAS, P.L. A operacionalização de previsão regional do RAMS no DCA/IAG/USP. *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. SBMET. 795–799. 1996.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 77,3, 437-471. 1996.
- KUO, H.L. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 31, 1232-1240. 1974.
- MCCUMBER, M.C.; PIELKE, R.A. A Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model. *Journal of geophysical Research*. 86, 10, 9929- 9938. 1981.

- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 38, 2653-2675. 1981.
- NOBRE, P. Variabilidade climática sobre o Atlântico tropical. Parte II. Estudo de caso. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. 8, 10-14. 1994.
- PAN, Z.; TALKE, E.; GUTOWISKI, W.; TURNER. Long simulation of regional climate as sequence of short segments. *Monthly Weather Review*. 127. 308-321. 1999.
- PEIXOTO, J.P.; OORT, A.H. *The atmospheric branch of the hydrological cycle and climate*. 5-65. 1983.
- PRATES, J.E.; DIAS, M. A. Assimilação de dados em um modelo regional em área com topografia complexa: uma análise de desempenho. *IX Congresso de Meteorologia*. SBMET. 1400-1403. 1996.
- REPELLI, C.A.; NOBRE, P. Modelagem estatística das anomalias de temperatura da superfície do mar do oceano tropical. *Climanálise*. Outubro. MCT. 1996.
- SILVA DIAS, P.L. Slow modes of the shallow water equations: Physical interpretation and numerical applications. *Workshop on Computational Methods for Oceanic, Atmospheric and Groundwater Flow*. LNCC – Laboratório Nacional de Computação Científica. Petrópolis – RJ. 1997.
- TANAJURA, C. J. Modeling and analysis of the south American summer climate. *Dissertation of doctorate*. University of Maryland, Maryland, USA. 1996.
- TRIPOLI, G.J.; COTTON, W.R. The Colorado State University three-dimensional cloud mesoscale model – 1982. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments. *Journal de Recherches Atmosphériques*. 16, 185-2219. 1982.
- WALKO, R.L.; COTOON, W.R.; MEYERS, M.P.; HARRINGTON, J.Y. New RAMS cloud microphysics parameterization par I: The single-moment scheme. *Journal of the Atmospheric Research*. 38, 29-62. 1985.