# IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO DE ÁREA LIMITADA COM GRADE DE ALTA RESOLUÇÃO PARA PREVISÃO DE TEMPO, PARTE I: DESCRIÇÃO

PRAKKI SATYAMURTY E YOSHIHIRO YAMAZAKI

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
- CNPq -
12200 - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

RESUMO

Uma versão simplificada do modelo de área limitada com grade de alta resolução (GAR) está sendo adaptada no Centro de Modelagem Atmosférica (CEMA) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). As equações com as devidas discretizações e a técnica do procedimento da previsão são apresentadas, juntamente com uma estimativa de dados e recursos computacionais necessários.

## INTRODUÇÃO

O problema de previsão de tempo, em especial aquele que envolve o emprego de modelos dinâmicos, é, sem dúvida alguma, um tópico central tratado pela Meteorologia moderna.

As duas componentes do problema, ou seja, a operacional (implantação e operação de modelos) e a acadêmica revestem-se de uma complexidade enorme. Em termos de desenvolvimento de modelos numéricos de previsão, é essencial considerar harmoniosamente o problema de compatibilização entre os modelos propriamente ditos e as informações e facilidades computacionais disponíveis. Um equacionamento indevido do problema poderá frustrar todos os esforços de desenvolver modelos de propósito dual.

O objetivo fundamental desse trabalho é apresentar em forma preliminar um modelo de alta resolução espacial, cuja potencialidade inclui eventual uso em caráter operacional.

Os modelos operacionais de previsão numérica de tempo (PNT) desenvolvidos nos últimos trinta anos baseiam-se essencialmente nos pensamentos de Bjerknes (1904), Richardson (1922), Rossby (1939) e Charney (1949). É interessante notar o desenvolvimento de modelos de PNT, hierarquicamente mais complexos, em função da expansão da rede observacional, incluindo os de satélites meteorológicos e desenvolvimento tecnológico na área de computadores. O Centro Meteorológico Nacional (National Meteorological Center) dos EUA, por exemplo, que usava um modelo barotrópico equivalen

te (Cressman, 1958) e um quase-geostrófico de 3 níveis (Cressman, 1963) operacionalizou em 1968 um modelo de equações primitivas de seis camadas, construído por Shuman e Hovermale (1968). Esses modelos utilizam grades horizontais em uma projeção estereográfica polar com espaçamento de 381 Km.

Em 1972, o NMC desenvolveu um modelo de área limitada com grade de alta resolução (GAR) com espaçamento de 190,5 Km que, numa segunda versão (Gerrity, 1977), foi refinada para 127 Km, incluindo-se todos os processos físicos de subgrade consistentes e pertinentes a esse aumento de resolução.

O Centro de Modelagem Atmosférica (CEMA) do Departamento de Meteorologia do INPE está se empenhando em adaptar um modelo de alta resolução similar ao do NMC, visto que as necessidades de contar com um modelo desse porte no país já são patentes. De fato, espera-se que com um modelo de GAR fenômenos meteorológicos determinantes do tempo e suas mudanças, tais como ciclones, frentes e ondas zonais, possam ser melhor previstos, trazendo substanciais benefícios sócio-econômicos para o país.

Esse modelo deverá ser usado para elaborar previsões de curto prazo (24 a 36 horas, tipicamente) e será, por questões de ordem técnica, de área limitada. Uma vez que um modelo de PNT é tão mais complexo quanto maior for o número de processos físicos incluídos, e essa complexidade se manifesta quer na fase de desenvolvimento quer na de validação do modelo, é altamente desejável iniciar essa atividade com um modelo simplificado, mas que modularmente permita facilmente a inclusão de processos físicos mais detalhados e uso de esquemas numéricos mais eficientes.

Nesse trabalho é apresentado um resumo de uma versão simplificada do modelo de GAR, idêntico ao do NMC. Os esquemas de integração em tempo e de diferenças finitas em espaço são incluídos nessa descrição. Finalmente, uma descrição das facilidades computacionais do CEMA é feita, tendo em vista a viabilidade da implantação desse modelo.

## MODELO

Nessa fase preliminar o modelo não apresenta a sofisticada física incorporada no GAR. São ignorados todos os processos de transferência radiativa e os de micro e meso-escala associados à camada limite. Somente a precipitação devida aos movimentos de grande escala é calculada. O efeito da topografia da Terra é incluído no modelo através da coordenada vertical sigma introduzida por Phillips (1957). As equações governantes do modelo são escritas em coordenadas cartesianas, em projeção estereografica polar. São elas:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{u}{m}\right) = \eta\frac{v}{m} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{u^2+v^2}{2}\right) - \frac{\partial\phi}{\partial x} - c_p\,\theta\,\frac{\partial\pi}{\partial x} - \dot{\sigma}\,\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(\frac{u}{m}\right) \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{v}{m}\right) = -\eta\frac{u}{m} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{u^2+v^2}{2}\right) - \frac{\partial\phi}{\partial y} - c_p\,\theta\,\frac{\partial\pi}{\partial y} - \dot{\sigma}\,\frac{\partial}{\partial\sigma}\left(\frac{v}{m}\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial p}{\partial\sigma}\right) = -m^2\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{u}{m}\frac{\partial p}{\partial\sigma}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{v}{m}\frac{\partial p}{\partial\sigma}\right) - \frac{\partial}{\partial\sigma}\left(\dot{\sigma}\frac{\partial p}{\partial\sigma}\right)\right. \tag{3}$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -m^2\left(u\frac{\partial\theta}{\partial x} + v\frac{\partial\theta}{\partial y}\right) - \dot{\sigma}\frac{\partial\theta}{\partial\sigma} \tag{4}$$

$$(p_G - p_T)\,\frac{\partial^2\dot{\sigma}}{\partial\sigma^2} = -m^2\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p_G - p_T}{m}\frac{\partial u}{\partial\sigma}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{p_G - p_T}{m}\frac{\partial v}{\partial\sigma}\right)\right] \tag{5}$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial\sigma} = -c_p\,\theta\,\frac{\partial\pi}{\partial\sigma} \tag{6}$$

$$\pi \equiv \left(\frac{p}{p_0}\right)^{R/c_p} \tag{7}$$

$$\theta = T/\pi \tag{8}$$

$$p = \rho R \pi \theta$$

$$\eta = \zeta + f;\quad \zeta = m^2\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{v}{m}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{u}{m}\right)\right] \tag{9}$$

$$f = 2\Omega\left(\frac{1-R}{1+R}\right);\quad R \equiv (x^2+y^2)/[a(1+\operatorname{sen}\Phi_0)]^2 \tag{10}$$

$$\sigma = (p - p_T)/(p_G - p_T) \tag{11}$$

Os símbolos empregados representam:

x,y - distâncias na projeção estereográfica, medidas a partir do pólo;

u,v - componentes da velocidade na direção x e y respectivamente;

$\dot{\sigma} \equiv \frac{d\sigma}{dt}$ - medida da velocidade vertical;

$m = (1 + \operatorname{sen}\Phi_0)/(1 - \operatorname{sen}\Phi)$ - fator de mapa, onde $\Phi$ é a latitude e $\Phi_0$ a latitude em que a projeção é verdadeira;

$\theta$ - temperatura potencial;

$\pi$ - função de Exner;

$\phi$ - geopotencial;

p - pressão, $p_0$ = 1000 mb;

$P_G$ - pressão na superfície da Terra;

$P_T$ - pressão no topo da atmosfera, considerada constante no modelo;

$\zeta$ - componente vertical da vorticidade;

cp - calor específico do ar seco à pressão constante;

f - parâmetro de Coriolis.

As Equações (1) e (2) são as equações do movimento horizontal; as Equações (3), (4), (5), (6) e (9) são, respectivamente, as equações da conservação de massa, termodinâmica, velocidade vertical, hidrostática e de estado; enquanto as Equações (7), (8) e (10) são simplesmente as equações auxiliares. As Equações (1)-(9) e (11) formam um sistema de 10 equações de 10 incógnitas que, em princípio, desde que o estado inicial e as condições de contorno sejam adequadamente fornecidas, pode ser resolvido para determinar a evolução do estado da atmosfera.

A precipitação pode ser estimada através da equação da conservação do vapor da água:

$$g\frac{\partial w}{\partial t} = -m^2\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\int_{\sigma_1}^{\sigma_2}\frac{\partial p}{\partial \sigma}\,q\,\frac{u}{m}\,d\sigma\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\int_{\sigma_1}^{\sigma_2}\frac{\partial p}{\partial \sigma}\,q\,\frac{v}{m}\,d\sigma\right)\right]-\left[q\frac{\partial p}{\partial \sigma}\,\dot{\sigma}\right]_{\sigma_1}^{\sigma_2} \qquad (12)$$

onde $w = \frac{1}{g}\int_{\sigma_1}^{\sigma_2} q\frac{\partial p}{\partial \sigma}\,d\sigma$; $\sigma_1$ e $\sigma_2$ são duas superfícies que limitam a camada; e q, a umidade específica. Quando o valor de saturação de w, estimada pela distribuição vertical da temperatura, for menor que w/0,95 como calculado pela Equação (12), a diferença é considerada precipitação da camada entre $\sigma_1$ e $\sigma_2$. Essa precipitação é computada para as três camadas inferiores ordenadas de cima para baixo. Quando uma determinada camada estiver subsaturada e a camada imediatamente acima com precipitação, parte ou toda a precipitação é usada para saturá-la. A perda ou o ganho de calor latente corresponde à evaporação ou precipitação é levada em consideração no cálculo da temperatura média da camada.

## ESQUEMA DE INTEGRAÇÃO

A redução de dados aos níveis sigma a partir dos dados observados nos níveis de pressão é apresentada em Santos et alii(1982).

Admite-se aqui que os campos u,v, T, $\phi$ e p em função de x,y, $\sigma$ e $P_G$ em função de x, y para $\sigma = 1$ são disponíveis no instante inicial ($t = 0$). A partir desse ponto, para atingir o objetivo de calcular esses campos num tempo futuro, prossegue-se da seguinte forma:

1. Calcula-se $\theta(x,y,\sigma)$ em $t = 0$ através da Equação (8).

2. Calcula-se $\dot{\sigma}(x,y,\sigma)$ em $t = 0$ usando-se a Equação (5) com as condições de contorno $\dot{\sigma}(x,y,\sigma = 1) = 0$ e $\dot{\sigma}(x,y,\sigma = 0) = 0$.

3. Calculam-se $\partial/\partial t(u/m)$ e $\partial/\partial t(v/m)$ usando-se respectivamente as Equações (1) e (2) com as condições de contorno laterais apropriadas para $\phi$, u, v e $\pi$ (estas condições de contorno serão discutidas posteriormente).

4. Calcula-se $\partial/\partial t(\partial p/\partial \sigma)$ usando-se a Equação (3) com as condições de contorno apropriadas para u,v e p.

5. Calcula-se $\partial\theta/\partial t$ usando-se a Equação (4) com as condições de contorno apropriadas.

6. Marche-se no tempo para calcular u, v, $\theta$ e $\partial p/\partial \sigma$ em $t = \Delta t$ usando-se as tendências calculadas nas etapas 3, 4 e 5.

7. Calcula-se p, integrando-se $\partial p/\partial \sigma$ em $t = \Delta t$ com a condição $p = P_T$ (constante) para $\sigma = 0$. Assim, obtém-se $p = P_G$ em $\sigma = 1$ no instante $t = \Delta t$ para x,y.

8. Calcula-se $\pi(x,y,\sigma)$ usando a Equação (7).

9. Integra-se a Equação (6) para obter $\phi(x,y,\sigma)$ no instante $t = \Delta t$ com a condição $p = P_G$ em $\sigma = 1$.

10. Calcula-se a precipitação usando-se a Equação (12) em cada camada do modelo. Corrigem-se as temperaturas médias das camadas de acordo com a precipitação ou evaporação conforme seja o caso.

11. Nesse instante têm-se os campos de u, v, $\theta$, $\pi$, p e $P_G$ no instante $t=\Delta t$. Repetem-se as etapas 2-10 várias vezes até atingir o instante de tempo futuro desejado.

GRADE E CONDIÇÕES DE CONTORNO LATERAIS

A aplicação de um modelo de área limitada está sujeita à introdução de certas artificialidades inevitáveis nos contornos da região, o que restringe o modelo por não permitir a inclusão, nos dados iniciais, de sistemas sinóticos que podem afetar a área de previsão em tempo futuro. Contudo, esse problema poderá ser par-

cialmente contornado aumentando-se a área de integração ou aplicando-se técnicas de assimilação de novas informações. O modelo será inicialmente aplicado à região apresentada pela Figura 1 que é aquela onde o NMC emprega o GAR. Após a fase de desenvolvimento e testes preliminares o modelo será aplicado à região apresentada na Figura 2. Nessa figura, a área apresentada contém o Brasil. A resolução nas regiões tropicais não é boa por se estar com a projeção estereográfica polar. Contudo, as equações poderão ser posteriormente modificadas para a projeção mercator, que dá assim uma melhor resolução para essa região.

A Figura 3 apresenta a distribuição horizontal dos pontos de grade, bem como os pontos centrais e os pontos extrapolados que serão empregados na obtenção da vorticidade relativa e das linhas de corrente.

Pelo fato de a região de integração apresentar sistemas sinóticos ímpares, será necessária a especificação de condições de contorno dependentes do tempo. Os dados das três linhas externas de grade que constituem as fronteiras da área limitada serão obtidos de modelos hemisféricos. Essas tendências serão combinadas com aquelas calculadas pelas equações do modelo através da condição de contorno do tipo esponja, desenvolvido pelo "Fleet Numerical Weather Facility in Monterey" (Gerrity, 1977). Na ausência de informações de contorno as tendências laterais devidas à contribuição do modelo hemisférico serão considerados nulos.

## 5. ESTRUTURA VERTICAL DO MODELO

O modelo em sua forma preliminar apresenta 6 camadas na vertical, que representam a troposfera e a estratosfera. Na segunda fase de elaboração a camada inferior e as 3 camadas superiores serão redefinidas para a inclusão da camada limite planetária e uma melhor representação da estratosfera. A Figura 4 mostra a estrutura vertical do modelo bem como a distribuição das variáveis na vertical. As linhas cheias da figura, que são chamadas superfícies ou níveis sigma, definem os limites de cada camada, onde a altura (z) e a velocidade vertical ($\dot{\sigma}$) são diagnosticamente obtidas. As linhas tracejadas são os níveis intermediários onde as componentes da velocidade (u, v); a temperatura e a umidade específica são prognosticadas.

## 6. DISCRETIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES

A convenção simbólica introduzida por Shuman (1962) será empregada para expressar as equações na forma de diferenças finitas. Tomando-se "d" como a menor distância entre pontos adjacentes de grade que apresentam as mesmas variáveis ($\alpha_{ij}$) na horizontal têm-se:

$$\alpha_x \equiv (\delta_x \alpha)_{ij} \equiv \frac{1}{d} (\alpha_{i+(1/2),j} - \alpha_{i-(1/2),j})$$

$$\overline{\alpha}^x \equiv (\overline{\alpha}^x)_{ij} \equiv \frac{1}{2} (\alpha_{i+(1/2),j} + \alpha_{i-(1/2),j})$$

$$\alpha_y \equiv (\delta_y \alpha)_{ij} \equiv \frac{1}{d} (\alpha_{i,j+(1/2)} - \alpha_{i,j-(1/2)})$$

$$\overline{\alpha}^y \equiv (\overline{\alpha}^y)_{ij} \equiv \frac{1}{2} (\alpha_{i,j+(1/2)} + \alpha_{i,j-(1/2)})$$

$$\overline{\alpha}^{xy} \equiv (\overline{\alpha}^{xy})_{ij} \equiv (\overline{(\overline{\alpha}^x)}^y)_{ij}$$

Da mesma forma, para a discretização na vertical:

$$\Delta\sigma_k \equiv (\Delta\sigma)_k \equiv \sigma_{k+1} - \sigma_k$$

$$\overline{\alpha}^\sigma \equiv (\overline{\alpha}^\sigma)_k \equiv \frac{1}{2} (\alpha_{k+1} + \alpha_k)$$

$$\alpha_\sigma \equiv (\alpha_\sigma)_k = \frac{\alpha_{k+1} - \alpha_k}{\Delta\sigma_k}$$

$$\dot{\sigma}\alpha_\sigma \equiv (\dot{\sigma}\alpha_\sigma)_k \equiv \frac{1}{2} (\dot{\sigma}_{k+1} \frac{\alpha_k - \alpha_{k+1}}{\Delta\sigma_k} + \dot{\sigma}_k \frac{\alpha_{k-1} - \alpha_k}{\Delta\sigma_{k-1}})$$

Com essas notações as equações relevantes (1-12) que serão integradas podem ser representadas pelas suas análogas na forma de diferenças finitas:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\frac{u}{m}) \equiv (\frac{\overline{v}}{m})^{xy} (\overline{f}^{xy} + m^2 (\frac{\overline{v}^y}{m})_x - (\frac{\overline{u}^x}{m})_y) - \frac{1}{2} (m^2 (\frac{u}{m})^2 + (\frac{v}{m})^2)^{xy}_x -$$

$$(\overline{\phi_x^\sigma}^y + c_p \overline{\theta}^{xy} \overline{\pi_x^\sigma}^y)^{xy} - \dot{\sigma} \frac{u_\sigma}{m}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{v}{m}\right) \equiv -\overline{\frac{u}{m}}^{xy}\left(\overline{f}^{xy} + m^2\,\overline{\left(\frac{v}{m}\right)_x}^{y} - \overline{\left(\frac{u}{m}\right)_x}^{x}\right) + \frac{1}{2}\overline{\left(m^2\left(\frac{u}{m}\right)^2 + \left(\frac{v}{m}\right)^2\right)_y}^{xy}$$

$$- \left(\overline{\overline{\phi}_y^{\sigma}}^{x} + c_p\,\overline{\theta}^{xy}\,\overline{\pi}^{\sigma x}\right)^{xy} - \dot{\sigma}\,\frac{u_\sigma}{m}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial p}{\partial \sigma}\right) \equiv -\overline{m^2}^{xy}\left(\overline{\left(\frac{u}{m}\right)_x}^{y} p_\sigma + \overline{\left(\frac{v}{m}\right)_y}^{x} p_\sigma\right)^{xy} - \dot{\sigma}\,p_\sigma$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\theta \equiv -\left(\overline{m^2}^{xy}\,\overline{\left(\frac{u}{m}\right)}^{xy}\,\overline{\theta_x}^{y} + \overline{m^2}^{xy}\,\overline{\left(\frac{v}{m}\right)}^{xy}\,\overline{\theta_y}^{x}\right)^{xy} - \dot{\sigma}\,\theta_\sigma$$

$$\frac{\partial^2 \dot{\sigma}}{\partial \sigma^2} \equiv -\left(\frac{\overline{m^2}^{xy}}{p_G - p_T}\right)^{xy}\left(\overline{\left((p_G - p_T)\left(\frac{u}{m}\right)_\sigma\right)_x}^{y} + \overline{\left((p_G - p_T)\left(\frac{v}{m}\right)_\sigma\right)_y}^{x}\right)^{xy}$$

$$\phi_{k+1} = \phi_k - c_p\,\theta_k(\pi_{k+1} - \pi_k)$$

$$\pi_k = (p_k/p_0)^{R/c_p}$$

$$\theta_k = T_k/\pi_k$$

$$p_k = \rho_k\,R\,\pi_k\,\theta_k$$

$$\eta = \overline{m^2}^{xy}\left(\overline{\left(\frac{v}{m}\right)_x}^{y} - \overline{\left(\frac{u}{m}\right)_y}^{x}\right)^{xy}$$

$$f_k = 2\,\Omega\,\frac{1 - R_{ij}}{1 + R_{ij}}$$

$$R_{ij} = \frac{(i\Delta x)^2 + (j\Delta y)^2}{(2\,(1 + \sin\Phi_0))^2}$$

$$g\frac{\partial w}{\partial t} \equiv -\overline{\overline{m^2}}^{xy}\left(\left(\sum_k^{k+1}\left(\frac{p_\sigma q u}{2m}\right)_k \Delta\sigma_k\right)_x + \overline{\left(\sum_k^{k+1}\frac{p_\sigma q v}{2m}\Delta\sigma_k\right)_y}^{x}\right)^{xy} -$$

$$- (q\, p_\sigma \dot{\sigma})_{k+1} + (q\, p_\sigma \dot{\sigma})_k$$

## INTEGRAÇÃO EM TEMPO

A marcha em tempo será feita empregando-se o método "leap-frog", que é um dos esquemas mais usados, no presente, em modelos atmosféricos. Em se tratando de um esquema de três níveis em tempo, também conhecido como regra do ponto médio ou "step-over", o primeiro passo será feito através da diferença avançada. Este esquema, apesar de exigir maior memória de computador por ser um esquema de dois níveis em tempo, é consideravelmente rápido. Por outro lado, sabe-se que a inclusão dos efeitos de atrito, a serem considerados posteriormente no modelo, introduzem instabilidade computacional indesejável, mesmo que a condição CLF seja satisfeita (Mesinger e Arakawa, 1976). Além disso, no caso do modelo GAR, o esquema "leap-frog" apresentará soluções desacopladas em passos de tempos alternados (Lilly, 1965).

Na tentativa de minimizar alguns dos problemas acima "descritos", em uma segunda fase pretende-se usar o esquema introduzido por Shuman (1971) e por Brown e Campana (1978).

## VOLUME DE DADOS E REQUISITOS COMPUTACIONAIS

O desenvolvimento e os testes iniciais serão feitos sobre a mesma área quadrada, que consiste em 53 x 45 pontos, em projeção estereográfica polar verdadeira em 60º N. Visto que o modelo apresenta 6 níveis, ter-se-á um total de 6 x 53 x 45 pontos de grade, onde em cada um deles são definidas as 20 variáveis, incluídas as tendências de todas variáveis prognósticas e os parâmetros auxiliares. Isso representa um volume total de cerca de 286000 dados a serem armazenados na memória do computador durante a integração do modelo. Esse enorme volume de dodos será implantado no CYBER 175/750, via o "Remote Job Entry" CYBER 18-05, que apresenta uma memória de 262 K palavras de 60 bits, uma memória estendida de mesma capacidade e CPU com velocidade de 10 MIPS.

No tocante aos requisitos computacionais, é possível fazer uma estimativa do tempo de CPU necessário para a integração do presente modelo. Essa estimativa pode ser feita comparando-a com o modelo PE da NMC, de 53 x 57 pontos de grade na horizontal e 6 níveis na vertical, que leva cerca de 1 hora de CPU no CDC 6600 para uma previsão de 48 horas (US-Dept. of Commerce, 1971). A razão entre o tempo de processamento do presente modelo e o do modelo PE a princípio deverá ser de cerca de:

$$\frac{T\ (\text{horas})}{1\ \text{hora}} \simeq \frac{53 \times 54}{53 \times 57} \times \frac{6}{6} \times \frac{2,5}{10} \simeq 0.2,$$

onde o primeiro fator exprime a razão entre o número de pontos de grade; o segundo, a razão entre o número de níveis; e o terceiro a razão entre as velocidades de processamento, que no caso do CDC 6600 é de cerca 1e 2,5 MIPS. Essa estimativa, apesar de ser bastante grosseira, é importante pois permite antecipar a viabilidade operacional do modelo em um centro de previsão.

## CONCLUSÃO

Atualmente o modelo encontra-se em elaboração. Várias subrotinas já estão sendo codificadas na linguagem FORTRAN, e espera-se a conclusão da programação para breve. Em seguida, entrar-se-á na fase de gravação em disco magnético e de verificação e correção do código e, posteriormente, na fase de teste dos diversos esquemas e de experiência que serão feitas com os conjuntos de dados disponíveis, do estado inicial, do Hemisfério Norte sobre os Estados Unidos.

A rede de observações meteorológicas no Hemisfério Sul, principalmente sobre a América do Sul, é muito esparsa para prover um estado inicial adequado. Sabe-se que a rede de observações deve apresentar boa resolução dos fenômenos atmosféricos predominantes na região para poder prever com precisão o curso futuro do tempo. Portanto, quando o modelo estiver operacionalizado, urge a necessidade de ampliar a rede meteorológica para usufruir as possíveis potencialidades do modelo.

## AGRADECIMENTOS

O Dr. Antonio Divino Moura pelo apoio. Ao Sr. Marco Antonio Maringolo Lemes pelas valiosas discussões. A Srta. Célia Regina Rosa pela datilografia e montagem final. Este trabalho foi em parte realizado dentro do convênio CNPq/INPE/FINEP B/54-81/042/00/00.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BJERKNES, V. Das problem der Wettervorhersage, betrachtet von standpunkte der mechanik und der physik. Meteologie Z., 21: 1-7, 1904.

BROWN, J.A.; CAMPANA, K.A. An economical time differencing system for numerical prediction. Monthly Weather Review, 106: 1125-1136, 1978.

CHARNEY, J.G. On a physical basis for numerical prediction of large-scale motions in the atmosphere. Journal of Meteorology, 6 (6): 371-385, Dec., 1979.

CRESSMAN, G. Barotropic divergence and the very long atmospheric waves. Monthly Weather Review, 86: 293-298, 1958.

CRESSMAN, G. A three-level model suitable for daily numerical forecasting. Tech. Memo. Nº 22. National Meteorological Center, Weather Bureau, ESSA, U.S. Department of Commerce: 22p., 1963.

GERRITY, J.F. The LFM model- 1976: A documentation. National Meteorological Center, Washington, D.C., 32 pp., Dec., 1977.

LILLY, D.K. On the computacional stability of numerical solution of time-dependent n on-linear geophysical fluid dynamics problems. Monthy Weather Review, 93: 11-26,1965.

MESINGER, F.; ARAKAWA, A. Numerical methods used in atmospheric models, Vol I. World Meteorological Organization, GARP Publication Series Nº 17: 64 pp. Aug., 1976.

PHILLIPS, N.A. A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. Journal of Meteorology, 14:184 - 185. 1957.

RICHARDSON, L.F. Weather prediction by numerical process. Cambridge University Press, 236 pp., 1922.

ROSSBY ,C.G. Relation between variation in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. Journal of Marine Research, 2:38-55, June, 1939.

SANTOS, R.P.; YAMASAKI, Y.; LEMES, M.A.M.; SATYAMURTY,P.; FRANCHITO, S.H. Um modelo baroclínico de duas camadas para uso em Previsão Numérica de Tempo. São José dos Campos, INPE (no prelo).

SHUMAN, F.G. Numerical experiments with primitive equations. Proceedings of the International Symposium on Numerical Weather Prediction, Tokyo, Meteorological Society of Japan: 85- 107, 1962.

SHUMAN, F.G: Ressuscitation of an integration procedure. National Meteorological Center, Washington, D.C., Office Note Nº 54: 55 pp., 1971.

SHUMAN, F.G.; HOVERMALE, J.B. An operational six-layer primitive equation model. Journal of Applied Meteorology, 7(4): 525-547, Aug., 1968.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. The limited area fine mesh (LFM)model. Silver Spring, Maryland, NOAA. Technical Procedures Bulletin Nº 67, Attachment B.: 17-20, Nov. 1971.

ABSTRACT

IMPLANTATION OF A LIMITED AREA FINE MESH MODEL FOR NUMERICAL WEATHER PREDICTION, PART I: DESCRIPTION

A simplified version of the Limited area Fine Mesh (LFM) model for the numerical weather prediction is being adapted in the Centro de Modelagem Atmosférica (CEMA) of the Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). The equations, the discretization and the numerical integration procedure, as well as an estimate of the data processing and the computational facilities needed, are presented.

C.D.U.551.509.3

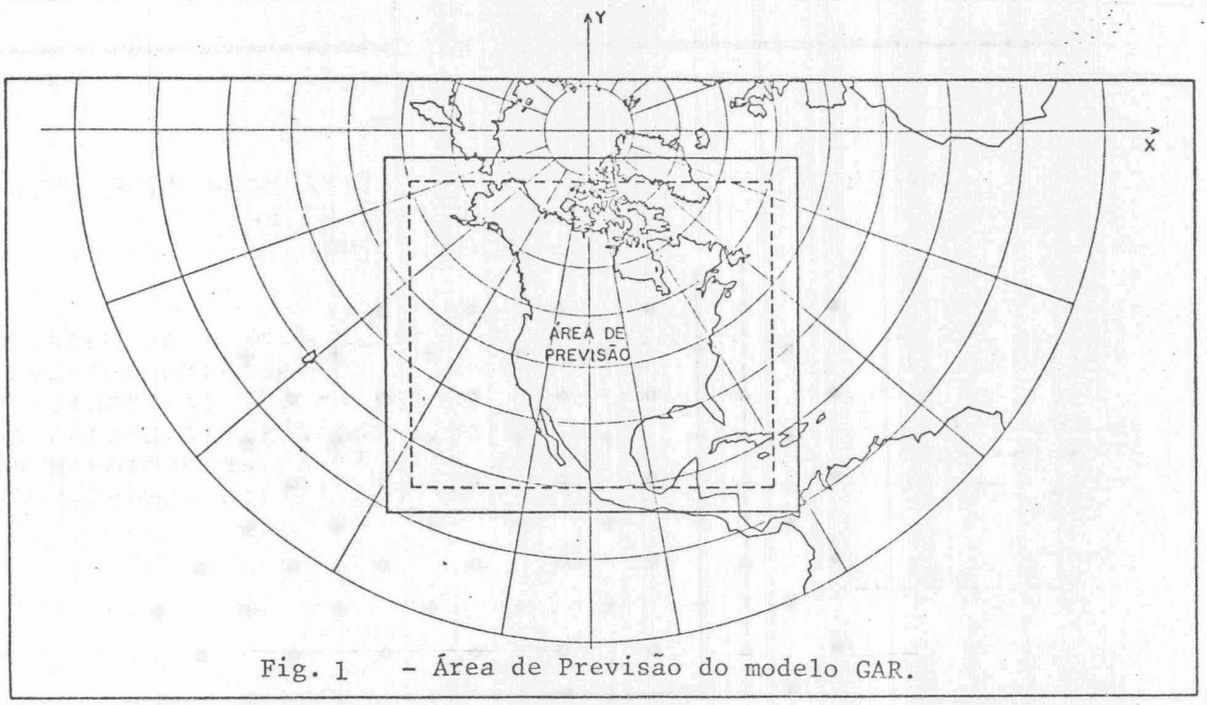


Fig. 1 - Área de Previsão do modelo GAR.

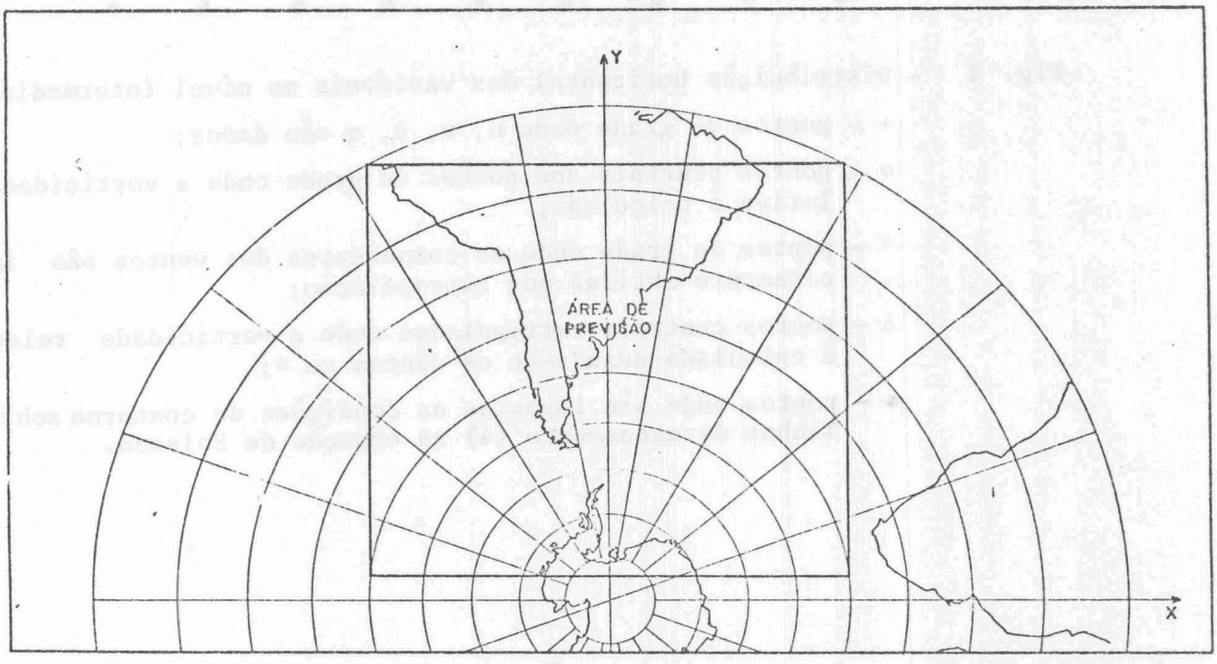


Fig. 2 - Área de integração do modelo CEMA/PNT3.

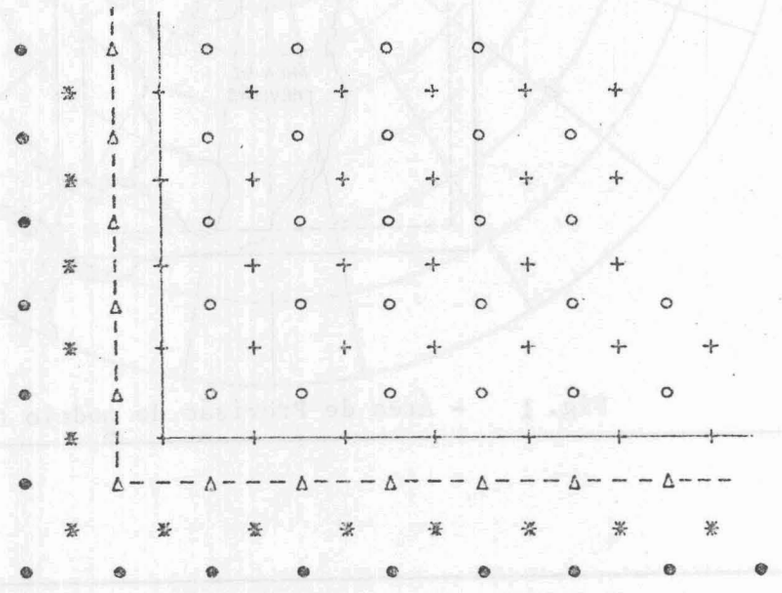

Fig. 3 - Distribuição horizontal das variáveis no nível intermediário.

+ - pontos de grade onde u, v, θ, q são dados;

o - pontos centrais aos pontos de grade onde a vorticidade relativa é calculada;

* - pontos de grade onde as componentes dos ventos são implicitamente obtidas por extrapolação;

Δ - pontos centrais extrapolados onde a vorticidade relativa é calculada usando-se os ventos em *;

● - pontos onde são impostas as condições de contorno sobre as linhas de escoamento (4) na equação de Poisson.

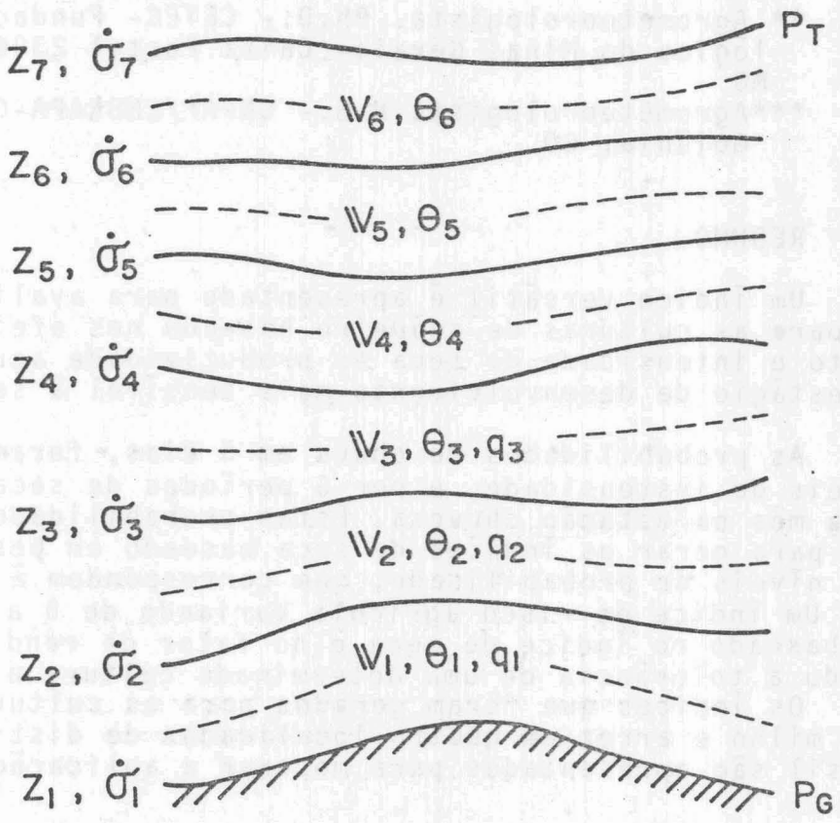


Fig. 4. - Estrutura vertical do modelo.