

**AS ANOMALIAS CLIMÁTICAS DE JANEIRO DE 2001:
UMA ANÁLISE POR FUNÇÕES DE GREEN DE UM MODELO BAROTRÓPICO DIVERGENTE**

José Antonio Aravéquia* e Pedro Leite da Silva Dias**

*Bolsista de Doutorado CNPq – Departamento de Ciências Atmosféricas –
Instituto Astronômico e Geofísico - Universidade de São Paulo
Filiação permanente ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Rod. Dutra km 39, CEP 12630-000 – Cachoeira Paulista – SP
E-mail: araveq@cptec.inpe.br

** Departamento de Ciências Atmosféricas – Instituto Astronômico e Geofísico –
Universidade de São Paulo
Rua do Matão, 1226 – CEP 05508-900 – São Paulo – SP
E-mail: pldsdias@model.iag.usp.br

RESUMO

O efeito de fontes de calor sobre a circulação na atmosfera pode ser identificado através dos resultados das funções de influência (FI) de um modelo espectral barotrópico divergente o qual permite a especificação de uma fonte de massa. Uma abordagem do uso das FI, muito mais econômica do ponto de vista computacional, é apresentada para a obtenção da resposta do modelo a um campo forçante pois não é necessário integrar o modelo até obter a resposta estacionária.

Os resultados da integração da resposta através da integral das FI com um campo forçante para o mês de janeiro de 2001 demonstram a robustez do método e confirma a importância da fonte de calor sobre a Indonésia e sobre o Oceano Índico para a obtenção da resposta observada.

ABSTRACT

The effect of heat sources on the atmospheric circulation is identified through the results of the influence function (IF) of a divergent barotropic spectral model that allows the specification of a mass source. A much more economic use of the IF, from the point of view of the computational effort, is presented in this paper in order to achieve the response of model to a specified heat source. In this methodology it is not necessary to integrate the initial value model up to the steady state.

The results of the integration of the response through the integral of the IF with a heat source characteristic of January of 2001 demonstrate the robustness of the method and confirm the importance of the heat source on Indonesia and Indian Ocean region for the achievement of the observed atmospheric response.

Palavras-chaves: Função de influência, fonte de calor, efeito remoto.

1 - INTRODUÇÃO

A atividade convectiva na atmosfera tropical causa efeitos remotos em todo o globo. Seus efeitos não só são evidentes em regiões ao entorno das regiões de convecção intensa dada pela subsidência de compensação como também em regiões distantes destas através da excitação de ondas planetárias, como estudada em Kasahara e Silva Dias (1986) e Gandu e Silva Dias (1998). Este último estudo aborda a identificação dos efeitos gerados de algumas fontes hipotéticas de calor pré-definidas teoricamente sobre a circulação atmosférica. Essas fontes hipotéticas são posicionadas em regiões onde há atividade convectiva intensa, sob o ponto de vista das observações das anomalias de radiação de onda longa emergente (ROLE).

O problema da determinação do impacto de fontes de calor pode ser abordado de forma diferente que a de um simples problema de valor inicial forçado por fontes conhecidas de calor. Butkov (1968) apresenta um capítulo sobre as funções de Green com vários exemplos. O primeiro e mais simples é o de um movimento de uma partícula em um meio resistivo (dissipativo) sujeita a influência de uma força externa. O cálculo da função de Green é realizado pela resolução da equação governante do sistema, e indica a resposta (a variável prognóstica) em um tempo qualquer a uma forçante sobre o sistema. As

funções de Green são muito utilizadas em aplicações da engenharia técnicas, como hidráulica, física médica e outras áreas quando se deseja conhecer dentro de um determinado domínio físico as regiões que mais influenciam um ponto de interesse, ou através da medida de um parâmetro em um ponto obter o valor de algum outro parâmetro em algum ponto do domínio onde não se pode realizar a medida.

É possível imaginar a aplicação das funções de Green para um escoamento atmosférico sujeito a dissipação e a uma forçante que pode ser devido a liberação de calor latente. Porém, na atmosfera muitas vezes há que se considerar o efeito das interações não lineares. Por isso a aplicação em meteorologia exige a solução numérica de um modelo forçado em cada ponto do domínio de interesse. Nessa linha há estudos como em Branstator (1985) e Grimm e Silva Dias (1995), que determinaram funções de Green (funções de influência) de um modelo barotrópico não divergente, sujeito à atuação de uma fonte unitária em cada ponto de seu domínio. Através dos campos de função de influência (FI) pode-se identificar quais regiões, sujeitas a uma fonte de calor, tem maior efeito sobre o valor de uma variável (uma das variáveis do modelo) no ponto de interesse. O campo de FI pode ser interpretado como o campo de correlação de fonte de (vorticidade, divergência ou massa) com o estado do modelo no ponto de interesse.

Neste trabalho usamos o modelo espectral barotrópico com base nas funções de Hough para estudar os efeitos de fonte de calor. Tal modelo permite especificar diretamente uma forçante no campo de massa (altura) que é relacionada com a fonte anômala de calor no caso baroclínico (Silva Dias et al. 1983). O campo forçante foi derivado da anomalia do campo de Radiação de Onda Longa Emitida (ROLE) do mês de janeiro de 2001. Em janeiro e fevereiro de 2001 foi registrada intensa anomalia negativa de precipitação sobre grande parte do Brasil, especialmente sobre o Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (Climanálise¹ e Climanálise²).

2 - DADOS E METODOLOGIA

O modelo utilizado foi desenvolvido por Bonatti e Silva Dias (1982), porém aqui foi desenvolvida uma versão em que o termo de interação não-linear é linearizado em torno do estado básico $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{h})$ que é mantido constante durante a integração. Assim, as variáveis prognósticas do modelo são as amplitudes dos distúrbios do escoamento (u', v', h') no espaço físico e $C_{s,l,r}(t)$ são os coeficientes de expansão das amplitudes das oscilações no espaço espectral do modelo. O sub-índice s representa o número de onda zonal, l é o modo meridional e r representa o tipo de onda (Rossby, gravidade leste/oeste etc.) da funções de Hough do modelo barotrópico divergente na esfera (Bonatti e Silva Dias, 1982). Assim a equação para a evolução no tempo dos coeficientes de expansão, que representa o estado do escoamento pelo modelo, ou seja, a equação governante do modelo fica:

$$\frac{d}{dt} C_{s,l,r}(t) + i \cdot \omega_{s,l,r} \cdot C_{s,l,r}(t) = \eta_{s,l,r}(t) + F_{s,l,r} - K \cdot C_{s,l,r}(t) \quad (1)$$

Tal modelo permite resolver os modos rotacionais (Rossby) e os modos divergentes (de gravidade).

As integrações realizadas usam o estado climatológico mensal do NCEP de 200 hPa que foi interpolado para grade gaussiana equivalente ao truncamento do modelo e usando a base das funções de Hough calculada para a altura equivalente de 10 km. O termo dissipativo linear, proporcional a K , tem tempo de decaimento exponencial de 7 dias para os modos lentos, até número de onda 5, e proporcional ao número de onda à quarta potência para modos mais curtos, chegando a 12 horas de tempo de decaimento para onda de número 23.

Foram realizados três experimentos de previsão com o modelo forçado pelo campo derivado da anomalia de ROLE de janeiro de 2001: o primeiro com o campo na banda latitudinal entre 40°S e 40°N ao redor do globo, o segundo com o campo limitado entre 0 e 180E e o terceiro com o campo limitado entre 180°E e 360°E. As integrações foram realizadas até 60 dias e serão apresentados os campos de anomalia de altura geopotencial em 200 hPa médio para os 30 primeiros dias de integração e para os

últimos 30 dias. Tais resultados servem como base de comparação para o método proposto para obtenção da resposta em um tempo determinado, através dos resultados das FIs integrados com a forçante sobre o globo inteiro.

Integrações de 80 dias com o modelo forçado por forçante unitária em cada um dos pontos da grade representada pela resolução do modelo entre a latitude de 60°S e 60°N em todo cinturão do globo são realizadas para a obtenção numérica da Função de Green ou Função de Influência (FI) do modelo. Em Meteorologia, o uso de FIs requer em geral a resolução através de método numérico uma vez que as variáveis de interesse são dadas por resultados de modelos complexos que não são integráveis analiticamente. Sua utilização aparece para o estudo de influência remota de fontes de calor como em Branstator (1985) e Grimm e Silva Dias (1995).

Campos de funções de influência do modelo calculados para alguns pontos sobre o Brasil serão usados para auxiliar no processo de identificação das regiões que as forçantes de calor exercem maior influência sobre o ponto de referência em questão. Sabe-se, através do campo de anomalia de ROLE observada do mês de janeiro de 2001, quais as áreas com convecção acima da média. Combinando a informação sobre a magnitude e localização das fontes com F.I., pode-se deduzir quais são as regiões de forçantes anômalas que efetivamente contribuíram para as anomalias observadas no Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste brasileiro.

Através das funções de influência, pode-se obter a resposta a uma forçante anômala qualquer em todo o domínio de integração. A solução do problema forçado é dada por

$$\psi(x, y, t) = \iint_s F(x', y', t') \cdot D(x', y', t') dx' dy' dt' \quad (2)$$

onde $\psi(x, y, t)$ é um campo escalar qualquer (u, v ou z) e $D(x', y', t')$ é a forçante de massa e $F(x', y', t')$ é a função de influência para cada um dos pontos do domínio do modelo no tempo t , devido à forçante no ponto x', y' no tempo t' . Entretanto, nos casos aqui estudados a forçante é constante no tempo e portanto independe de t' . A função de influência, mesmo neste caso, depende do tempo, porém para os experimentos apresentados usa-se a função de influência do estado estacionário, ou seja, quando os campos anômalos prognosticados pelo modelo já não se alteram com o tempo. Isso se dá por volta de 50-60 dias mas os resultados usados para o cálculo da função de influência são de 80 dias de integração.

Também através da integral acima pode-se obter diretamente qual a previsão para um determinado tempo t de integração, dado um certo campo forçante $D(x', y', t')$ e a função de influência $F(x', y', t')$ para o mesmo dia t representativo usada na integral, sem recorrer ao modelo novamente. O potencial da aplicação do método acima está no fato de que tendo as funções de influência do modelo já calculadas, a previsão para qualquer campo forçante é realizada através da simples integral da equação (2). Computacionalmente pode-se ter uma redução de até 98% no tempo de processamento necessário para obter a resposta estacionária à forçante, em comparação com a integração do problema de valor inicial formado pela resolução numérica das equações da água rasa na esfera.

Na prática, o método mostrou-se robusto para a identificação dos subdomínios da forçante que mais contribuem para a configuração do escoamento anômalo. Vários experimentos usando subdomínios do campo forçante derivado da ROLE do mês de janeiro de 2001 foram realizados com o método proposto para identificar a região forçante cuja resposta melhor se aproxima do escoamento observado nos meses de janeiro e fevereiro de 2001, especialmente na região equatorial e tropical.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

O experimento numérico foi realizado com o campo forçante derivado da anomalia de ROLE média do mês de janeiro de 2001 entre 40°S e 40°N. O uso do campo de anomalia de ROLE do mês de janeiro de 2001 se deve ao fato de ter ocorrido em uma grande parte do Brasil nos meses de janeiro e fevereiro e parte de março uma escassez de chuvas causando anomalias significativas e aprofundando o

problema dos níveis dos reservatórios de água que levou ao racionamento no consumo de energia elétrica (Cavalcanti e Kousky (2001)).

Cavalcanti e Kousky (2001) argumentam que condições de La Niña, como as estabelecidas neste período no oceano Pacífico tropical, em eventos passados foram acompanhados por chuvas acima da normal no Nordeste do Brasil e abaixo no Sul e Sudeste. Entretanto, no evento de janeiro de 2001, tal configuração de dipolo na precipitação não ocorreu, levando a escassez de chuvas sobre uma vasta área no Brasil, incluindo regiões que no passado, em situações semelhantes do ponto de vista das anomalias de SST no Pacífico Equatorial, estiveram associadas a chuvas acima do normal. Em relação aos aspectos de grande escala, um trem de ondas de anomalias de vorticidade estendeu-se do Pacífico Sul para a América do Sul e o grande número de vórtices ciclônicos de altos níveis que penetraram pelo continente no Brasil sugerem a ligação entre o aumento de convecção sobre a Indonésia e a escassez de chuvas sobre as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil, agravando a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas.

A Figura 1 mostra o campo de anomalia de ROLE do mês de janeiro de 2001. Nota-se uma forte e extensa anomalia negativa sobre o Oceano Índico e adjacências, no Oceano Pacífico sobre a região da zona de convergência do Pacífico Sul (ZCPS), sobre o Oceano Pacífico Norte em uma faixa longitudinal que se estende desde a Ásia até próximo a costa dos Estados Unidos, no Pacífico Central Oeste da costa do México, na América do Sul sobre a região Sul do Brasil e na região da zona de convergência Inter-Tropical (ZCIT).

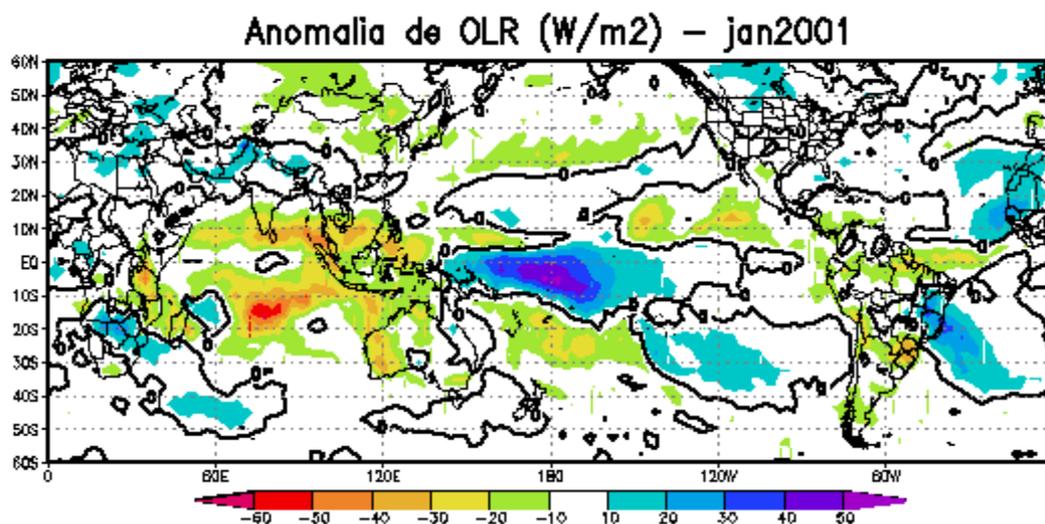


Fig. 1 – Campo médio de anomalia de Radiação de Onda Longa Emitida do mês de janeiro de 2001. Fonte NOAA-NCEP.

A Figura 2 mostra a distribuição espacial da fonte de massa derivada do campo de anomalia de ROLE do mês de janeiro de 2001. Regiões com anomalias negativas de ROLE são transformadas em forçante de massa positivas pois indicam nebulosidade acima da média. Regiões de anomalia de ROLE positivas, que indicam nebulosidade abaixo da média estão associadas a subsidência sobre tais áreas, são indicativas de ausência de forçante térmica pois são regiões desfavoráveis para a formação de nuvens precipitantes. O modelo barotrópico divergente, ao contrário do barotrópico não divergente, pode ser forçado apenas com a região de fonte de massa. A subsidência de compensação é determinada pela própria dinâmica do modelo. No caso do modelo barotrópico não divergente, é preciso especificar a fonte de divergência (associada à convecção anômala) e a fonte de divergência, associada à região de subsidência de compensação (Grimm e Silva Dias 1995).

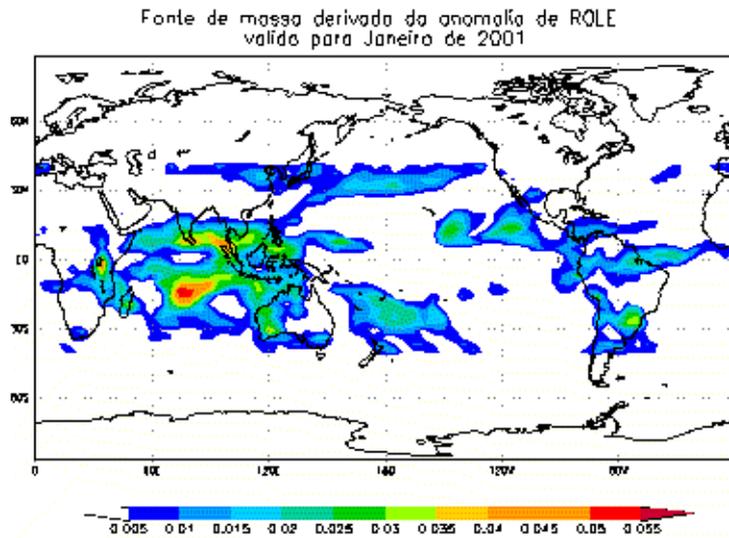


Fig. 2 – Campo da forçante de massa derivada da anomalia de ROLE observada em janeiro de 2001. Foram mantidos apenas valores entre 40S e 40N.

A Figura 3 mostra o estado médio da integração dos primeiros 30 dias (a) e dos últimos 30 dias (b) da integração do modelo forçado pelo campo forçante de massa derivado da ROLE observada em janeiro de 2001 (Fig. 2), no qual o estado básico é a climatologia de janeiro.

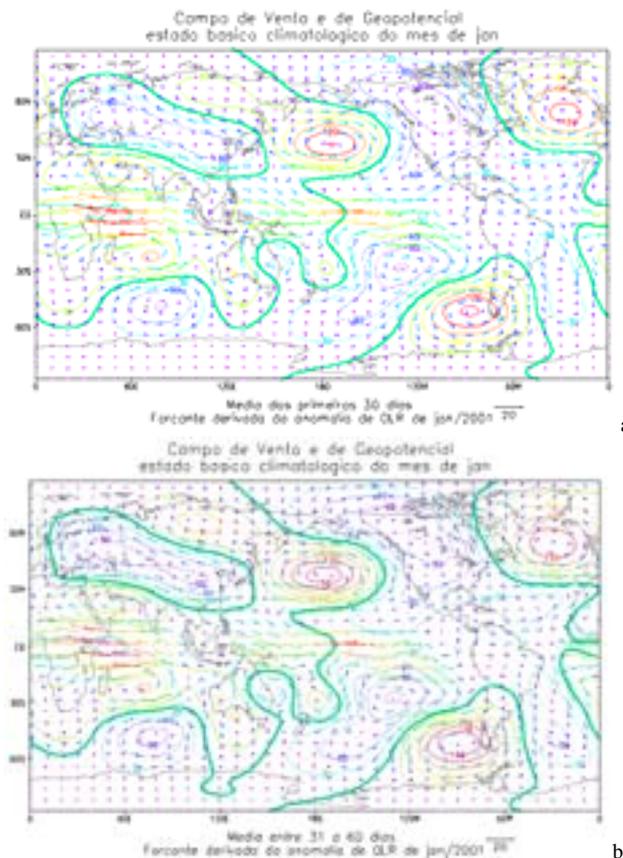


Fig. 3 - Estado médio do escoamento dos primeiros 30 dias (a) e dos últimos 30 dias (b) da integração com o modelo forçado com a anomalia de ROLE de janeiro de 2001.

Nota-se nos primeiros 30 dias que o estado médio alcançado já é bastante similar ao dos 30 dias seguintes (de 31 a 60 dias). A configuração do escoamento alcançado não é totalmente coerente com a observação para os meses de janeiro e fevereiro de 2001 (Figura 4). As observações indicam que o Brasil Central, o Sudeste e o Nordeste estão sob a influência de uma baixa em altos níveis, aspecto desfavorável a precipitação em função da subsidência associada a este tipo de circulação em altitude. O modelo posiciona uma alta no Oceano Pacífico com máximo no oceano atuando também no sul da

América do Sul e na Antártida, sendo que o padrão observado apresenta uma alta sobre o Sul do Brasil e no extremo sul da América do Sul novamente uma baixa em altitude. Um outro aspecto que não é reproduzido por esta simulação do modelo é uma circulação anticiclônica que ocupa praticamente toda a América do Norte.

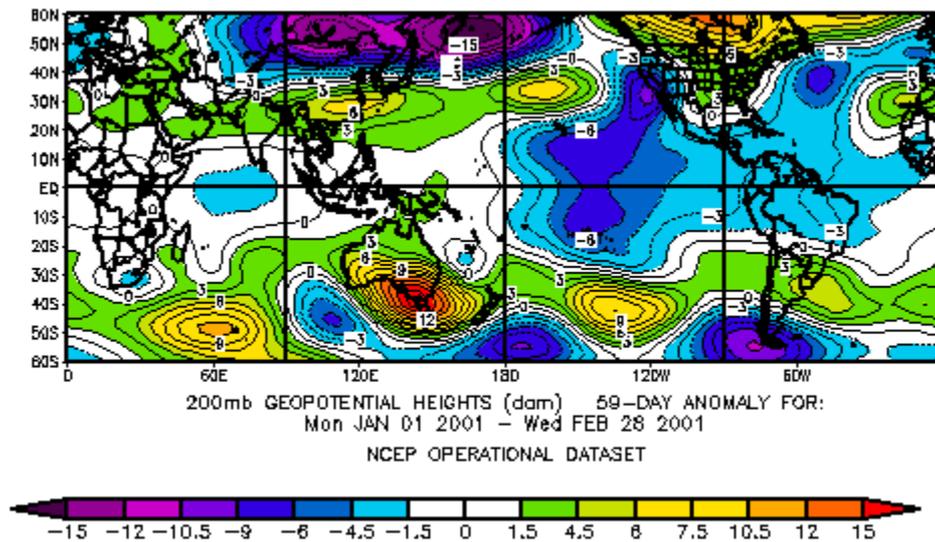


Fig. 4 - Estado médio da anomalia de altura em 200 hPa para os meses de janeiro e fevereiro de 2001. Fonte NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center.

O fato de o resultado do modelo forçado com todo o campo derivado da anomalia de ROLE mostrar significativa diferença com a anomalia média observada, deve indicar que algumas áreas incluídas na forçante são também partes da resposta ao sinal mais intenso observado. Para investigar essa hipótese, outras simulações com o modelo forçado foram realizadas, com a forçante derivada do campo de anomalia de ROLE reduzida a algumas partes do domínio.

Um dos experimentos é baseado na manutenção da forçante derivada da ROLE somente na região entre 0° e 180° E, anulando-a no restante da região. Este experimento mantém a forçante dada pela convecção anômala sobre as regiões da Indonésia, Austrália, ZCPS e também do Oceano Índico, onde em janeiro aparece o núcleo mais intenso de anomalia negativa de ROLE. A Figura 5 mostra o resultado do modelo para este experimento em que a configuração de baixa em altos níveis sobre a América do Sul posiciona-se um pouco mais ao norte, sendo que a região de transição entre esta e a alta que vem do Pacífico Sul fica sobre o Sudeste. Tal alta apresenta-se mais alongada, com maior extensão longitudinal, que no experimento anterior, aspecto mais semelhante ao padrão observado. A anomalia positiva passa a ocupar praticamente todo o Oceano Atlântico e a alta sobre a América do Norte fica configurada. A diferença entre os resultados da média dos 30 primeiros dias de integração (não mostrado) e dos últimos 30 (figura 5b) é muito pequena.

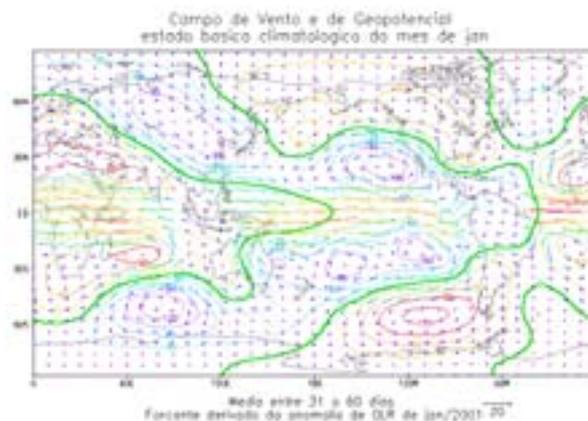


Fig. 5 - Estado médio do escoamento entre 30 a 60 dias da integração com o modelo forçado com a anomalia de ROLE de janeiro de 2001 porém o campo da forçante é limitado entre 0° e 180° E, zerando o restante do campo.

Um terceiro experimento foi realizado mantendo-se a forçante no campo de massa somente entre 180° E e 360° E, para verificar se são preservadas as configurações geradas quando apenas as fontes mais próximas ao Sudeste e Centro-Oeste do Brasil são mantidas. A Figura 6 mostra o campo médio de vento e isolinhas de geopotencial estabelecido durante os 30 últimos dias da integração de 60 dias deste experimento. Também neste caso nota-se uma resposta bem diferente da observada. Sobre o Pacífico Central e Leste o modelo gera uma extensa região de anomalias positivas de altura que avança sobre a Amazônia onde, no campo observado ocorreu anomalia negativa. Anomalias negativas são geradas pelo modelo sobre a América do Norte, onde deveriam haver anomalias positivas. Também ao Norte da Ásia aparece anomalia positiva de altura onde no campo observado há anomalias negativas.

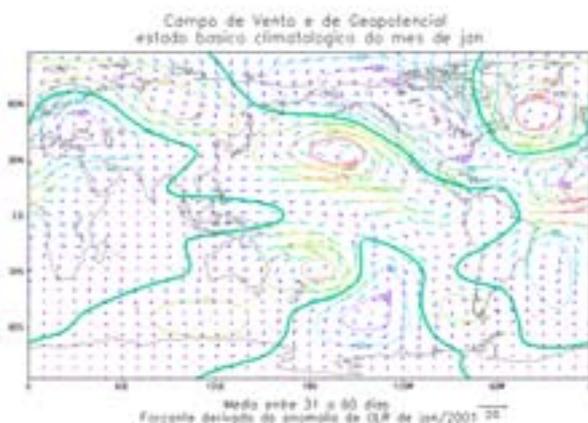


Fig. 6 - Estado médio do escoamento entre 30 e 60 dias da integração com o modelo forçado com a anomalia de ROLE de janeiro de 2001, porém o campo da forçante é limitado entre 180° E e 360° E, zerando o restante do campo.

A análise pode ser completada com o auxílio das Funções de Influência. A Figura 7 mostra os campos da função de influência para quatro pontos sobre o Brasil: um no oeste do Mato Grosso, um no norte de São Paulo divisa com o oeste de Minas Gerais, um no centro de Minas Gerais, e outro no extremo sul do Piauí, na divisa com a Bahia. Pode-se notar que esses pontos são mais fortemente afetados pela fonte de massa de regiões próximas. Porém, mesmo em regiões mais remotas (incluindo no hemisfério oposto), o campo de FI ainda apresenta valores não desprezíveis.

Nota-se para os quatro campos uma região com influência positiva (Figura 7) que se estende pelo Pacífico do sul da Austrália na direção sudeste e outra região com influência negativa que se estende do Pacífico Leste/Sul passando pelo cone sul da América do Sul. Essas duas regiões apresentam valores de FI elevados, porém não há para o campo forçante escolhido valores significativos sobre tais

regiões. Portanto, baseado na interpretação física da equação 2, espera-se pouca influência dessas regiões na formação das anomalias observadas.

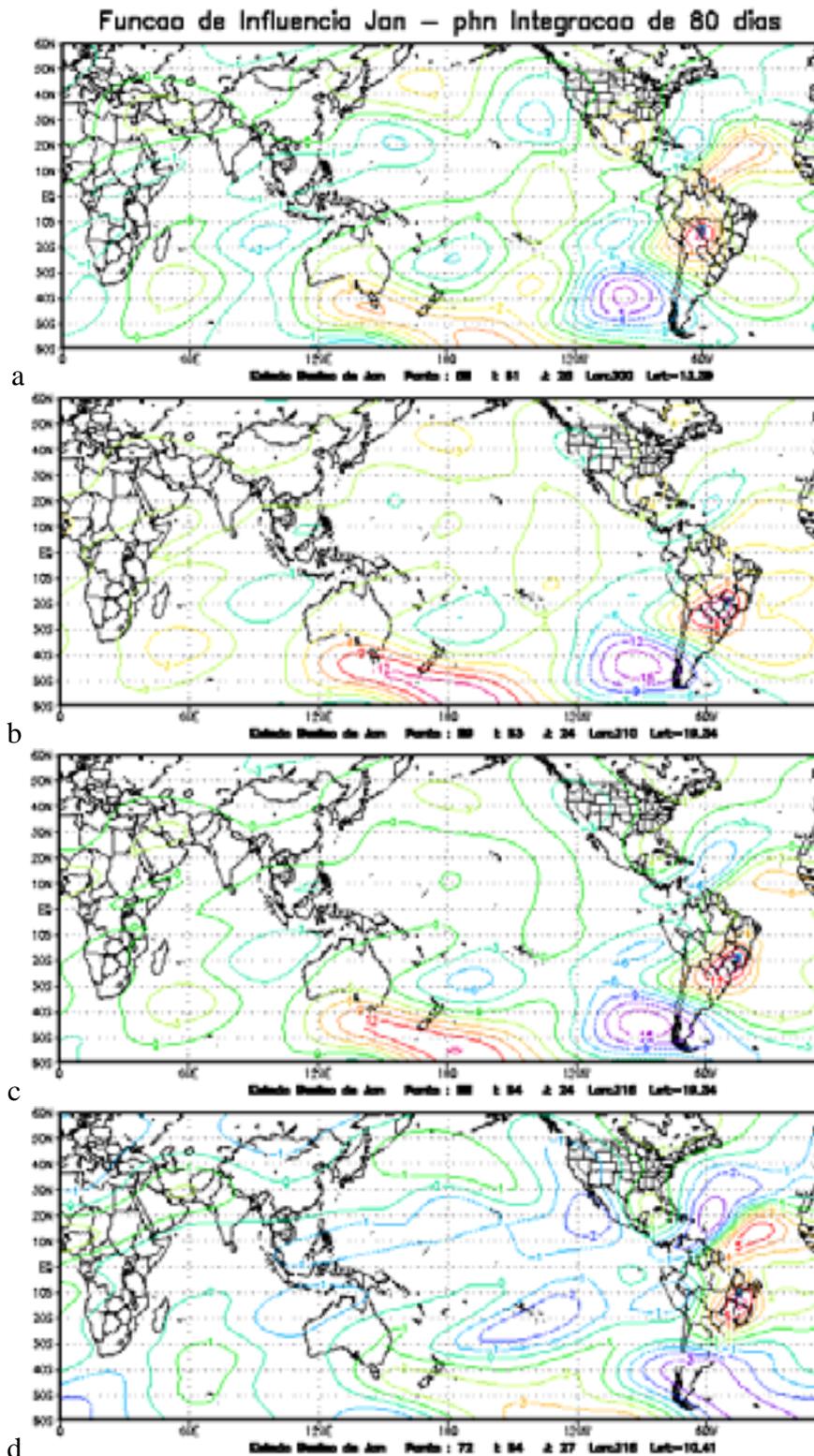


Fig. 7 - Função de influência para quatro pontos: a) no oeste do Mato Grosso; b) na divisa entre o norte de São Paulo e oeste de Minas Gerais; c) no centro de Minas Gerais; e d) na divisa entre o noroeste da Bahia e sul do Piauí.

Para todos os pontos nota-se valores negativos da função de influência para áreas sobre a Oceania, Oceano Índico, sobre a região da ZCPS e no Pacífico Norte perto da costa da América, regiões que em janeiro de 2001 estavam associadas a anomalias positivas de atividade convectiva. Apesar de algumas variações de posicionamento, esses resultados das FIs indicam que a existência de fonte de

massa em tais posições, através da propagação das ondas ali geradas ou forçadas, deve causar anomalias negativas na altura geopotencial em 200 hPa nos pontos de interesse, o que significa uma tendência a haver subsidência o que é desfavorável à ocorrência de chuvas.

Assim, o uso dos resultados das FIs deve ser associado à análise do campo forçante e pode-se compor um campo de resposta através da integração desta forçante, ponderada pela FI. Na prática a somatória dos valores do campo de FI para o ponto de interesse ponderado pelos valores do campo da forçante é a resposta do modelo para aquele ponto. Fazendo-se para todos os pontos do domínio tem-se o campo da resposta. Isso, porém, quando feito qualitativamente através de uma análise visual, pode dar margem a interpretações dúbias ou discrepantes, o que pode ser resolvido pelo efetivo cálculo da resposta através da integração da função de influência multiplicada pela forçante como dado pela Equação 2.

Uma análise complementar usando as funções de influência em conjunto com o campo de forçante usado pode fornecer a separação dos efeitos de cada área em que há anomalia negativa de ROLE (positiva na forçante de massa) sobre a resposta do modelo.

Para isso uma ferramenta foi desenvolvida para a implementação do método no qual um aplicativo sobre o GrADS (2002) que permite a delimitação do campo forçante derivado da ROLE mensal graficamente, passando os parâmetros da região delimitada para o programa que faz a integração, que considera a forçante nula fora da região delimitada. Após gerar a resposta o programa grava o campo que em seguida é visualizado graficamente.

Foram calculadas respostas por este método e comparadas com integrações comuns do modelo e os resultados foram muito similares a menos de uma constante de proporcionalidade. Os resultados, tanto para o campo forçante completo quanto para o campo forçante entre 0° - 180° E e 180° E - 360° E, têm aspecto espaciais (não mostrados) muito semelhante àqueles apresentados nas Figuras 3, 5 e 6.

Para o estudo do efeito da forçante no mês de janeiro de 2001 foram realizadas várias integrações para a obtenção da resposta que são apresentadas na Figura 8. Nota-se que os resultados que melhor se aproximam ao observado são aqueles em que a região forçante selecionada inclui a fonte sobre o Oceano Índico e/ou a fonte sobre a Indonésia (Figuras 8 a, c, e e i).

O resultado da seleção da forçante sobre a região da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) (Figura 8b) apresenta anomalia de altura negativa sobre a América do Sul, porém sobre o restante do globo, os núcleos de anomalia não reproduzem aqueles observados nem em sinal e nem com relação ao posicionamento.

Também com a forçante selecionada a leste de 180° E as respostas não reproduzem os resultados observados. A seleção da forçante apenas sobre a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) tem como resultado (Figura 8f) uma distribuição muito diferente da observada. Sobre todo Brasil aparece anomalia positiva, exceto no Sul onde a anomalia é negativa. A seleção da forçante com toda a área a leste de 200° E apresenta um resultado compatível sobre o Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, mas no restante o resultado diverge muito do observado.

Esses resultados levam a confirmação que o padrão observado para o mês de janeiro e fevereiro de 2001 foi causado pela excitação de trens de ondas da região do Oceano Índico e Indonésia que afetaram não só os trópicos como também os subtropicais, como na América do Norte.

As anomalias de ROLE observadas a leste da linha de data apresentam-se dessa forma também como parte da resposta aos efeitos da fonte de calor a oeste, assim como a anomalia negativa de altura sobre o Brasil.

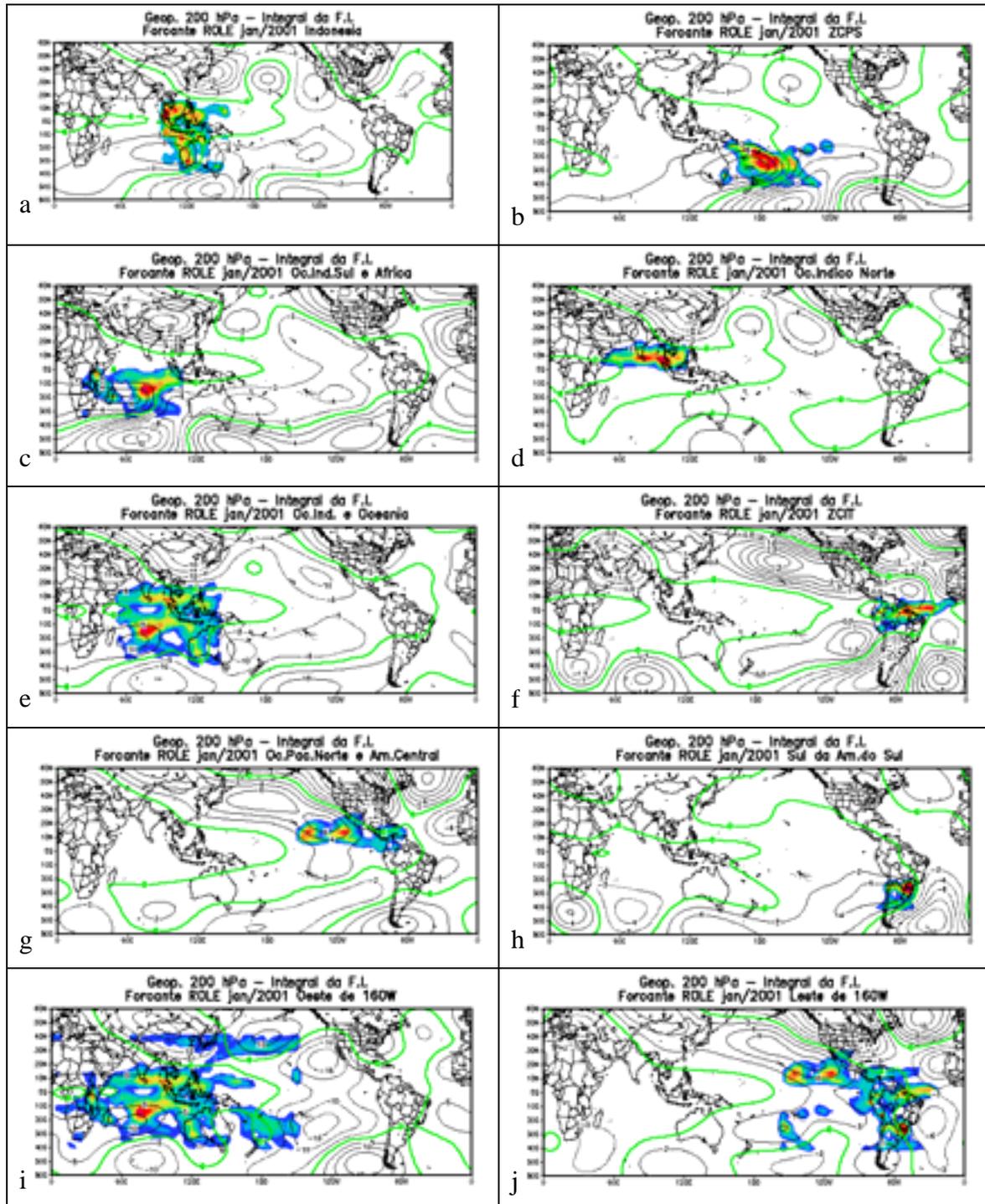


Fig. 8 – Altura geopotencial de 200 hPa (contornos) dado pela integração dos resultados de Função de Influência com a forçante derivada da anomalia de ROLE do mês de janeiro de 2001, selecionada por áreas da forçante (em sombreado).

4 - CONCLUSÃO

O método aqui apresentado abre novas fronteiras para aplicação do potencial das FI uma vez que fica demonstrada sua habilidade ao estudo de efeitos remotos. Novas aplicações também para modelos de área limitada podem ser planejadas também para previsão com alta resolução e curto prazo de tempo. Limitações com a capacidade de armazenamento em disco rígido devem ser levadas em conta, já

que a utilização das FI no método proposto exige que resultados do modelo com forçante unitária em todos os pontos do domínio de interesse estejam disponíveis para leitura durante a integração da equação (2).

Os resultados confirmam em grande parte os resultados observacionais de Cavalcante e Kousky (2001) e revela a forte modulação exercida pela convecção tropical sobre a região da Indonésia e Oceano Índico sobre o escoamento global.

A aplicação do método também indica que as fontes de calor a leste da linha de data não são essenciais para a obtenção da resposta, já que sua inclusão (Figura 3) a forçante sobre a Indonésia e Oceano Índico.

5- AGRADECIMENTO

Este trabalho faz parte do programa de doutorado do primeiro autor financiado com bolsa CNPq. Este trabalho também faz parte do Programa PROSUR, patrocinado pelo IAI.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonatti, J. P. e Silva Dias, P. L., 1982: Um modelo espectral barotrópico global com iniciação por modos normais. **INPE-2584-PRE/232**.
- Cavalcanti, I.F.A. e Kousky, V.E., 2001: Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Climanálise** Nov. 2001.
- Brandstator, G. 1985: Analysis of General Circulation Model Sea-Surface Temperature Anomaly Simulations Using a Linear Model. Part I: Forced Solutions. *J. Atmos. Sci.*, **42**, 2225-2241.
- Butkov, E. 1968: *Mathematical Physics*. **Addison-Wesley Publishing Company**. Reading, Massachusetts.
- CLIMANÁLISE; 2001: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, **16**, n° 01 – Janeiro de 2001.
- CLIMANÁLISE; 2001: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, **16**, n° 02 – Fevereiro de 2001.
- GrADS, 2002 : Grid Analysis and Display System. Institute of Global Environment and Society
<http://grads.iges.org/grads/gadoc>
- Grimm, A. M. and Silva Dias, P. L., 1995: Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 20, 3538-3555
- Silva Dias, P. L., Schubert, W. H. and DeMaria, M. 1983: Large-Scale Response of the Tropical Atmosphere to Transient Convection. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 2689-2707.