

# INVESTIGAÇÕES DAS VARIAÇÕES INTERANUAIS DO CAMPO DE VORTICIDADE POTENCIAL E DOS FUNCIONAIS DESTE CAMPO PARA ALGUMAS REGIÕES DA AMÉRICA DO SUL.

Igor A. Pisnichenko  
Instituto Tecnológico SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), Brasil  
e-mail: [igor@simepar.br](mailto:igor@simepar.br)

## Resumo

Para região Sul do Brasil foi feito um estudo comparativo do campo de vorticidade potencial e de outros parâmetros meteorológicos, incluindo precipitação total para esta região. Foram usados os dados de reanálise para o período de 1976-1987 e de precipitação nas estações meteorológicas do Sul do Brasil. Os cálculos de carga de vorticidade, entropia informacional e os coeficientes das funções esféricas do campo de vorticidade potencial foram feitos. Também foram calculados os coeficientes de correlação entre estas variáveis e precipitação total para o mês de novembro. Acharmos que algumas peculiaridades no comportamento interanual dos coeficientes de correlação estão ligadas às várias fases do El Niño e Oscilação Sul (ENOS). Por exemplo os coeficientes de correlação entre carga de vorticidade para a região Sul do Brasil e os parâmetros que caracterizam a circulação global, tais como energia cinética e entropia informacional do hemisfério sul, têm valores negativos consideráveis para El Niño nos anos de 1979, 1982 e 1986 e valor positivo para La Niña em 1985. O comportamento destes coeficientes de correlação está em concordância com a variabilidade interanual de precipitação no Sul do Brasil.

## INTRODUÇÃO

A relação de algumas anomalias climáticas regionais com eventos de ENOS é bem conhecida e documentada. Muitas investigações foram devotadas à descoberta de zonas de influência do ENOS, à análise estatística de séries com sinal do ENOS e de anomalias regionais de parâmetros meteorológicos e hidrológicos (Ropelewski & Halpert 1987; Kiladis & Diaz 1989; Grimm et al. 1998). Parece interessante e importante investigar detalhadamente o comportamento de vários parâmetros meteorológicos nas zonas de impacto, começando da escala sinóptica até planetária, a fim de compreender os processos que são responsáveis pela influência do ENOS no tempo. Aqui nós queremos investigar as condições sinópticas no sul do Brasil durante o mês de novembro, as ligações com os processos de grande escala e dependência do ciclo do ENOS.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para realização destas investigações utilizamos dados da reanálise do NCEP, a saber, geopotencial, vento zonal e meridional, umidade relativa, temperatura e derivada temporal de pressão no intervalo de 1976 a 1987. O passo de grade dos dados da reanálise é  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ; a estrutura vertical contém 17 níveis. Usamos também os dados de precipitações diárias de 245 estações meteorológicas que ficam no território dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os dados, que incluem os anos de 1963 a 1992, são oriundos da ANEEL e DNAE. Fazemos as comparações de variação da intensidade da precipitação com as características integrais do campo de vorticidade potencial.

Quando nós estudamos a correlação entre parâmetros meteorológicos, que caracterizam os processos das escalas espaciais diferentes, é desejável ter a similaridade nas escalas do tempo para estes processos. Por essa razão nós estudamos a inter-relação entre os valores médios das características meteorológicas de padrão e entre alguns funcionais de vorticidade potencial modificada (VPM). Porquanto a VPM é diretamente proporcional a vorticidade potencial de Ertel, este campo meteorológico é característica bastante plena dos processos sinópticos. Ao mesmo tempo a VPM é quase conservada durante os processos diabáticos e no espectro de sua evolução temporal existem grandes componentes que correspondem aos processos planetários (Kurgansky & Pisnichenko, 2000).

Neste trabalho nós estudamos a variação temporal das características integrais do campo de vorticidade potencial modificada para o período de 1976-1987. Consideramos a circulação da

atmosfera sobre o hemisfério sul e sobre os territórios de: Sul do Brasil, Brasil e América Sul. Em relação a estes territórios pressupomos que área deles é retangular e têm coordenados (37.5S-24.5S, 62.5W-47.5W); (55S-15N, 87.5W-27.5W) e (25S-0, 75W-35W) respectivamente.

Também analisamos as séries temporais da precipitação para período de 1963-1992 sobre Sul do Brasil. Para a comparação das características atmosféricas que caracterizam processos regionais, globais e de precipitação restringimo-nos ao mês de novembro, levando em consideração que durante este mês ocorrem as maiores anomalias da precipitação no Sul do Brasil (Grimm et al. 1998) (Fig. 1). Para ter certeza que a precipitação média sob a área de interesse não é fortemente sensível ao jogo de estações meteorológicas, nós usamos também um conjunto das estações reduzido à metade do número inicial. Neste caso o comportamento das curvas de precipitação muda bem pouco e os valores absolutos variaram não mais do que 7%.

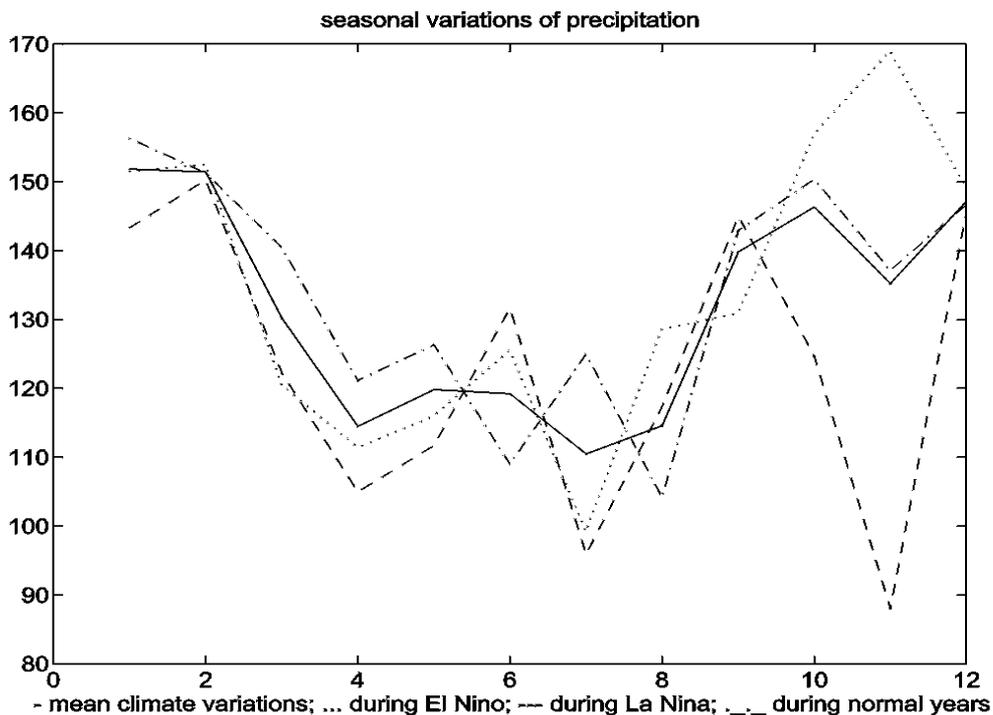


Figure 1. Ciclo anual da precipitação para Sul do Brasil.

A circulação regional pode ser caracterizada pelos seguintes parâmetros integrais, calculados para áreas indicadas acima: carga de vorticidade, entropia informaçional do campo de vorticidade potencial modificada, energia cinética e energia potencial disponível, medias por volume, pressão de superfície média, divergência de fluxos da umidade, velocidade vertical por volume. Para caracterizar a circulação atmosférica em grande escala, nós consideramos os mesmos parâmetros listados acima, mas calculados sobre a América do Sul e o hemisfério sul. Nós computamos também os primeiros 15 coeficientes de representação do campo de vorticidade potencial, para o hemisfério sul, em série dos harmônicos esféricos e os componentes do momento angular, Para os anos de El Niño e La Niña nós analisamos detalhadamente também os campos de geopotencial, da vorticidade potencial, da temperatura, e da divergência dos fluxos de umidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das principais e mais importantes características de tempo regional é a precipitação. Claro que a precipitação é função de todos os outros parâmetros meteorológicos que caracterizam o estado da atmosfera. A vorticidade potencial modificada e seus momentos integrais, no entanto, são os

mais favoráveis para se estabelecer ligação entre a precipitação e um pequeno número de características dinâmicas do estado da atmosfera.

Como nós já notamos a vorticidade potencial modificada atribuída a partícula de ar, é a grandeza que evolui fracamente durante os processos diabáticos, e sua evolução é resultado do desbalanço entre fontes de vorticidade determinadas pelo aquecimento e atrito. É notório que as chuvas nas regiões tropicais e subtropicais estão ligadas, geralmente, com os processos convectivos. Por isso a velocidade vertical é o parâmetro principal de que depende a probabilidade da chuva e a estrutura espacial dos levantamentos e abaixamentos das massas de ar está correlacionada com o campo de precipitação. Mas por causa de omega-equação a velocidade vertical está correlacionada diretamente com o campo de vorticidade potencial geostrófico:

$$w \propto \frac{f}{\sigma} \frac{\partial}{\partial z} (\mathbf{V}_g \cdot \nabla q_g) + \frac{1}{\sigma} \nabla^2 \left[ \frac{R}{p} (\mathbf{V}_g \cdot \nabla T) \right]$$

(aqui  $w$  é velocidade vertical,  $f$ - o parâmetro de Coriolis,  $\sigma$  - o parâmetro estabilidade estática,  $\mathbf{V}_g$  - o vento geostrófico,  $q_g$ - a vorticidade potencial quase-geostrófica,  $R$  - constante de gás,  $T$ - a temperatura,  $p$ - a pressão,  $\nabla, \nabla^2$  - operadores de gradiente e de Laplace respectivamente). Desta fórmula vemos que o vento vertical é proporcional à velocidade de aumento da advecção da vorticidade quase-geostrófica com altura. Porquanto a vorticidade potencial modificada é próxima à vorticidade potencial quase-geostrófica nós podemos esperar que o campo de precipitação será bem correlacionado com as anomalias do campo da vorticidade potencial modificada. De outro lado, a evolução temporal da vorticidade potencial modificada em atmosfera livre está ligada ao aquecimento diabático (Agayan et al., 1990):

$$\dot{\theta} |_{\theta=\theta_0} = - \frac{q}{dp^*/d\theta} |_{\theta=\theta_0} \int_{\theta_0}^{\infty} \frac{d_\theta q}{dt} \left( \frac{1}{q^2 dp^*/d\theta} \right) d\theta,$$

onde  $q$  é a vorticidade potencial diabática,  $dp^*/d\theta$  - função da normalização,  $\dot{\theta}$  - aquecimento diabático. Esta equação pode ser simplificada e podemos escrever aproximadamente

$$\dot{\theta} = - \frac{k}{q} \frac{dq}{dt},$$

( $k$  é um coeficiente numérico perto de 1). Se nós multiplicamos cada parte da última equação por  $\rho$  (densidade de ar) e supomos que  $q$  não varia muito e a superfície de terra coincide com qualquer superfície de temperatura potencial constante, depois da integração ao longo de toda atmosfera sobre uma região qualquer vamos ter:

$$\dot{\theta} \approx k^* \left( \frac{1}{\bar{q}} \frac{d}{dt} Q + \frac{1}{\bar{q}} \int \rho q \mathbf{V} \cdot d\mathbf{n} \right).$$

Aqui  $Q$  é a carga da vorticidade calculada para a região,  $k^*$  - coeficiente numérico,  $\bar{q}$  - vorticidade potencial modificada média e a integral é igual aos fluxos de vorticidade potencial para a região. Como as regiões de convecção, onde podem acontecer as chuvas, são relacionadas com as fontes de calor é provável que a precipitação esteja correlacionada com a mudança da carga da vorticidade. Nós calculamos os coeficientes de correlação entre a intensidade da precipitação e  $dQ/dt$  para o Sul do Brasil durante o mês novembro para anos os 1976-1987.

Podemos ver na figura 2 que para em todos os anos o coeficiente de correlação é bastante elevado: quase sempre mais do que 0.5. A única exceção é o ano em que ocorreu La Niña (1985), quando a intensidade da precipitação foi anormalmente baixa. Existe uma peculiaridade interessante: a correlação é mais alta nos anos seguintes aos anos de ocorrência do El Niño. Isso pode ser devido ao fato de que durante o El Niño no Sul do Brasil os processos frontais intensificam.

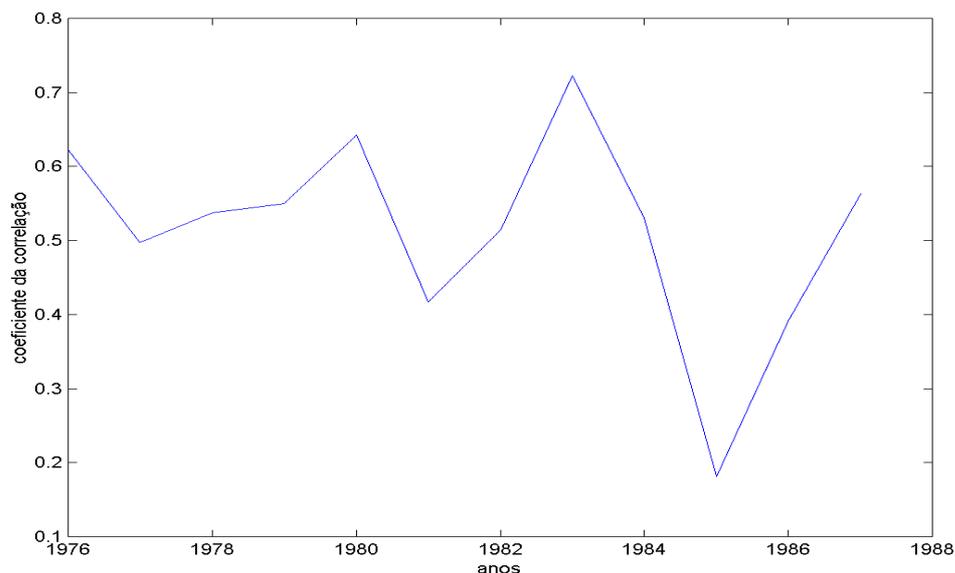


Figura 2. O coeficiente de correlação entre a precipitação e derivada da carga de vorticidade para Sul do Brasil, período de 1976-1987.

Os outros resultados da análise preliminar desta grande quantidade de dados confirmam a ligação das anomalias regionais da precipitação com os padrões sinóticos mais ou menos estáveis sobre estas áreas. Por exemplo, na estrutura espacial da função empírica ortogonal (FEO) do campo geopotencial para o nível de 850 hPa, os componentes principais (CP) que têm a correlação máxima com a precipitação no Sul do Brasil, para os anos de EL Niño quase sempre é similar àquela apresentada em Fig.3 para 1982.

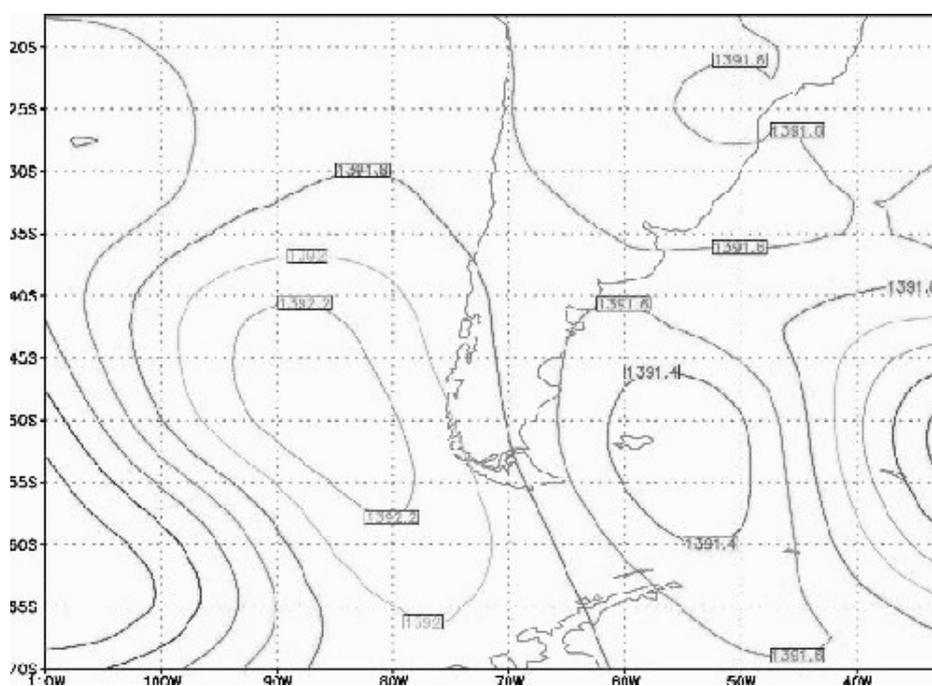


Figura 3. Padrão típico de FEO que corresponde aos CP que tem coeficiente da correlação máximo com a precipitação sobre Sul do Brasil durante os anos de El Niño.

A análise da evolução temporal dos parâmetros que caracterizam a circulação regional indica que a precipitação está ligada firmemente com a maioria destes parâmetros e que os coeficientes de correlação entre eles e a precipitação são sensíveis à fase do ciclo de ENOS. Na Fig. 4 são apresentadas as variações dos coeficientes de correlação entre precipitação e velocidade vertical média (—), entre a precipitação e carga de vorticidade (.....), entre precipitação e divergência de fluxos da umidade média (---), entre precipitação e pressão de superfície média (-·-·-) para região Sul do Brasil. Quase todos estes coeficientes são plenamente significativos. Podemos ver que para o ano de 1985 (La Niña) todos os coeficientes têm valores extremos. Os anos de El Niño (1976, 1979, 1982, 1986) não mostram tanta regularidade. A comparação simples das séries temporais dos parâmetros de circulação global com as séries temporais dos parâmetros regionais mostra as seguintes relações interessantes entre eles: a) durante um evento do EL Niño a maioria das ondas ultra-longas do campo de vorticidade potencial tem a grande componente quase estacionária, e o começo da chuva forte no Sul do Brasil está correlacionado com a mudança abrupta de fase desta componente (fig. 5); b) a maioria dos coeficientes de correlação entre parâmetros meteorológicos globais e regionais para o mês de novembro têm uma variação interanual relacionada com a precipitação mensal para região de interesse( fig. 6). Especialmente nos anos 1982, 1985 e 1986 esse efeito é bem destacado.

Geralmente a precipitação anômala forte durante os anos de El Niño no Sul do Brasil é resultado da interação de ar frio do ciclone Atlântico Sul com ar quente e úmido quando este ciclone atinge a costa Sul do Brasil – Uruguai. Na Fig.7 está mostrado o campo da vorticidade potencial para 4 de novembro de 1976 quando a precipitação média para Sul do Brasil excedeu 30 mm/dia. Esta situação é bastante típica. Podemos ver a crista sobre território Sul do Brasil, as isolinhas indicam

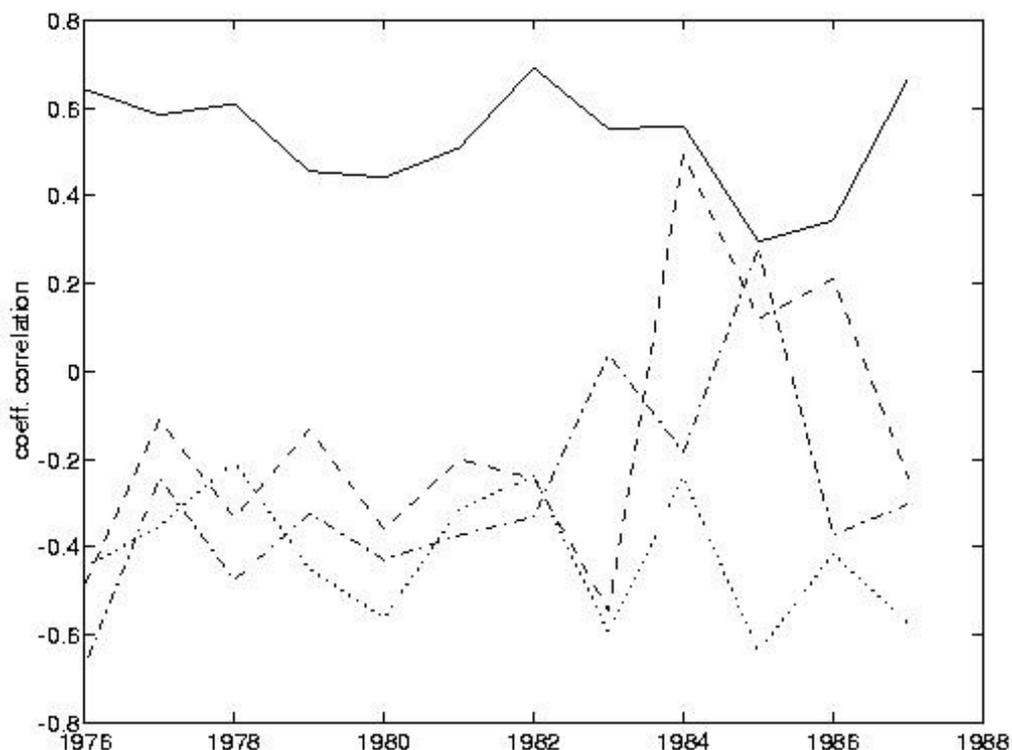


Figura 4. Variação temporal do coeficiente de correlação entre precipitação e as seguintes características regionais: a) velocidade vertical média (—), b) carga de vorticidade (.....), c) divergência de fluxos de umidade média (---), d) pressão de superfície média (-·-·-) para o período de 1976-1986.

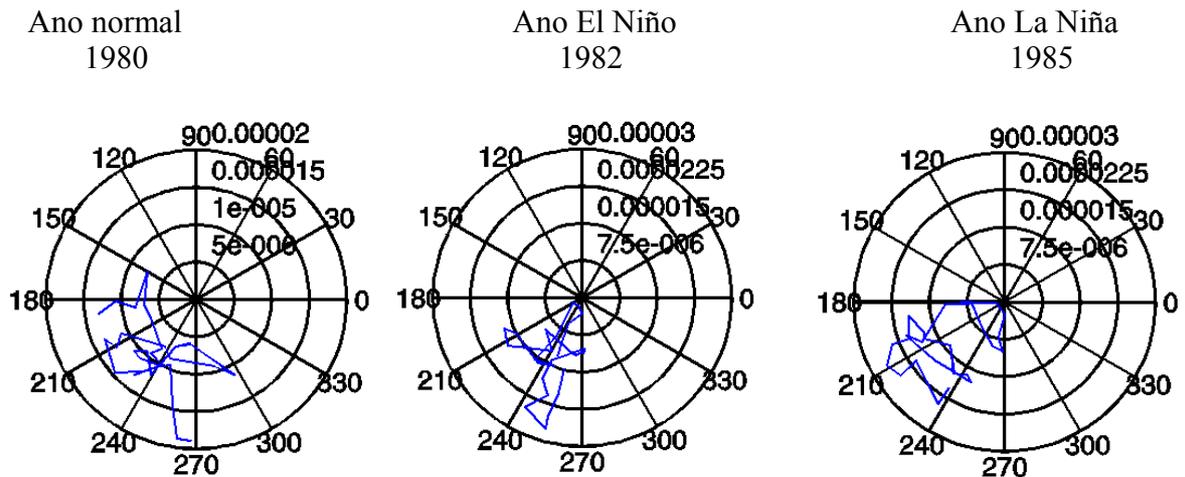


Figura 5. Um exemplo da evolução da amplitude e fase da harmônica esférica  $Y_3^2$  do campo de vorticidade potencial para três regimes de ENOS.

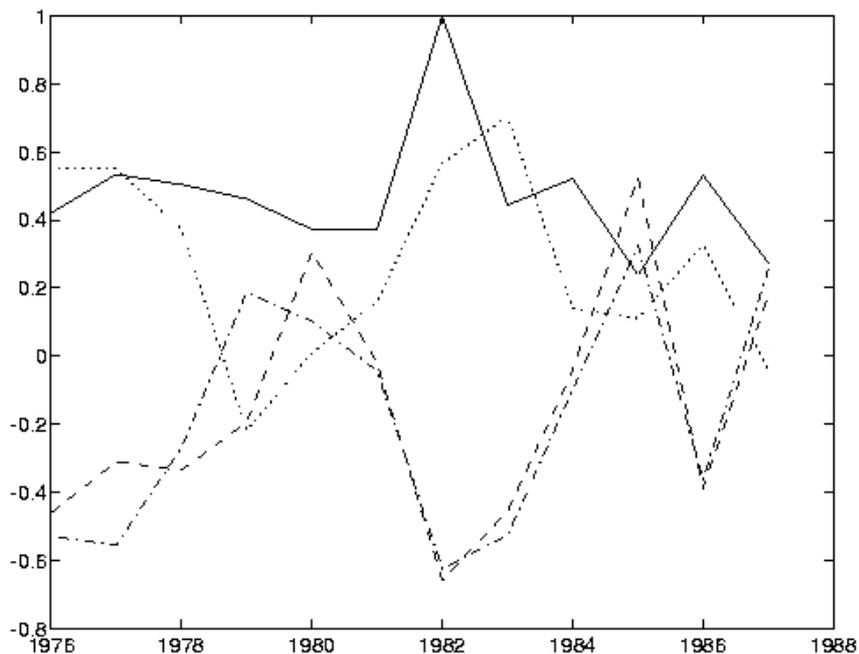


Figura 6. Evolução temporal da a) precipitação mensal para o mês de novembro normalizada pelo valor máximo de período de 1976-1987 (—) e dos coeficientes de correlação entre a carga de vorticidade regional e as seguintes características meteorológicas globais (para Hemisfério Sul): b) a energia cinética (----), c) carga de vorticidade (.....), d) entropia informacional (que caracteriza a intensidade dos processos de mistura de ar, que dependem de intensidade da circulação meridional) (-·-·-·).

direção do movimento das massas de ar frio ao longo da costa leste até um encontro com ar quente e úmido originado no Pacífico Central. Isso provoca a formação da frente fria e, como resultado, o surgimento das chuvas fortes.

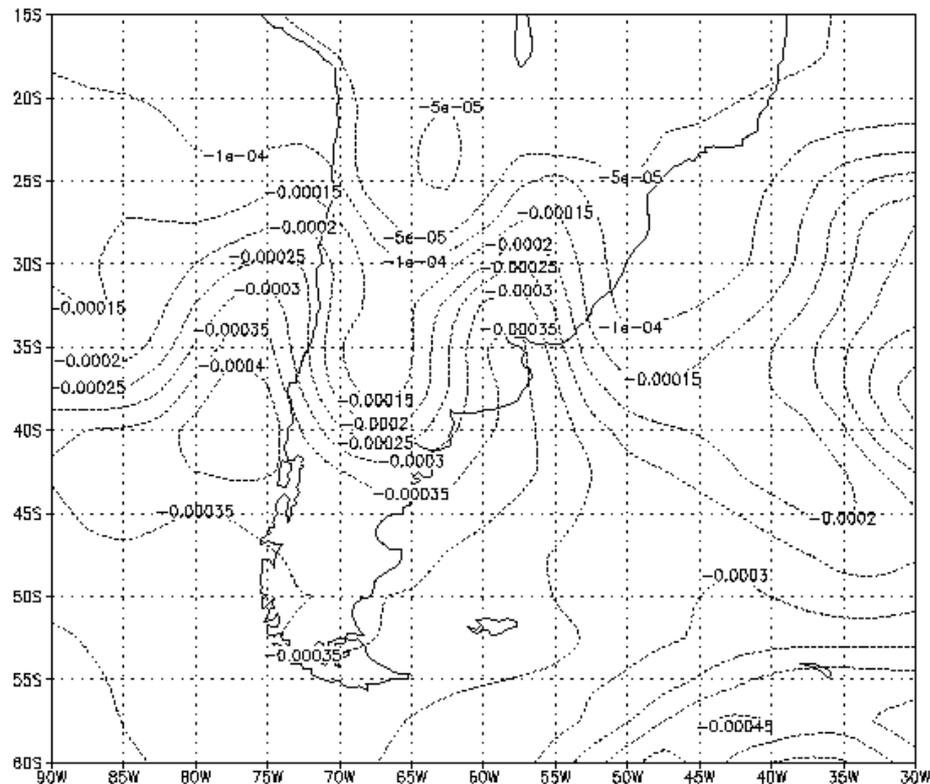


Figura 7. O campo de vorticidade potencial para 4 de novembro de 1976, quando a precipitação média para Sul do Brasil excedeu 30 mm/dia.

## CONCLUSÕES

Esta investigação ajuda a esclarecer, até certo ponto, os relacionamentos de causa - consequência entre os processos do tempo local (especialmente a precipitação) e peculiaridades da circulação em grande escala durante várias fases de ENSO, o que pode ser útil no desenvolvimento da previsão dinâmico-estatística de tempo em escala média.

## AGRADECIMENTO

O autor agradece A Dra. Alice Grimm pelas discussões e Angela A. Natori, Fabio M. de Oliveira e Paulo F. Zaratini pela colaboração em cálculos numéricos.

## REFERÊNCIAS

- Agayan G.M., Kurgansky M.V., Pisnichenko I.A., 1990: Calculation of a field of heat influxes using the equation of potential vorticity transformation. *Meteprology and Hidrology*, No.7, p.19-27.
- Grimm, A.M., S.E.T. Ferraz, and J. Gomes, 1998: Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 11, 2863-2880.
- Kiladis, G.N., and H.F. Diaz, 1989: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 1069-1090.
- Kurgansky, M.V., and I.A. Pisnichenko, 2000: Modified Ertel's potential vorticity as climate variable, *J. Atmos. Sci.*, 57, 822-835..
- Ropelevski, C.H., and S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.