

CONEXÕES ENTRE A TSM DO ATLÂNTICO SUL E A CONVECÇÃO DE VERÃO SOBRE A AMÉRICA DO SUL – ANÁLISE OBSERVACIONAL

Rosane Rodrigues Chaves

Recebido em 14 maio, 2008 / Aceito em 13 outubro, 2010
Received on May 14, 2008 / Accepted on October 13, 2010

ABSTRACT. The interaction between the sea surface temperature (SST) over the South Atlantic Ocean and the summertime convection over the South America and adjacent areas is studied by Principal Components Analysis (PCA), Singular Values Decomposition (SVD) and composites analysis. The dataset used are: SST from Comprehensive Ocean-Atmosphere Data (COADS), Outgoing Longwave Radiation from Climate Diagnostics Center (CDC) and wind field from National Centers for Environment Prediction (NCEP) Reanalysis to the period of December-January-February (DJF) from 1979 to 2001. The results of this work show that the SST over the South Atlantic Ocean is associated with the summertime convection variability over the southern Northeast of Brazil and tropical South Atlantic. The analysis of Singular Values Decomposition and composite analysis show that the convection over the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) is associated with positive anomalies SST over the South Atlantic.

Keywords: South America, sea surface temperature, convection, PCA, SVD.

RESUMO. A interação entre a temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Sul e a convecção de verão sobre a América do Sul e áreas adjacentes é estudada através de Análise de Componentes Principais (ACP), Decomposição em Valores Singulares (SVD) e análise de compostos para o período de dezembro a fevereiro (DJF) de 1979 a 2001. Os dados usados de TSM são do *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data* (COADS), *Outgoing Longwave Radiation from Climate Diagnostics Center* (CDC) e campo de vento do *National Centers for Environment Prediction* (NCEP) *Reanalysis*. Os resultados obtidos mostram que o primeiro modo das anomalias de TSM do Atlântico Sul determinado através de ACP está associado com a variabilidade da convecção sobre o sul do Nordeste Brasileiro (NEB) e sobre a porção tropical desta bacia no período de DJF de 1979 a 2001. Já as análises de SVD e compostos mostram que a convecção sobre a porção oceânica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e nas latitudes subtropicais da América do Sul está associada com as anomalias positivas de TSM sobre o Atlântico Sul.

Palavras-chave: América do Sul, temperatura da superfície do mar, convecção, ACP, SVD.

INTRODUÇÃO

Alguns trabalhos sugerem que os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico Sul modulam a posição e a intensidade dos máximos de precipitação sobre a América do Sul (Díaz et al., 1998; Barros et al., 2000; Doyle & Barros, 2002). Robertson & Mechoso (2000) estudando a variabilidade interanual e interdecadal da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) para o período de 1958 a 1997 determinaram que a intensificação da ZCAS em escala interanual está associada com anomalias negativas de TSM acima de 30°S. Estes sugerem que estas anomalias intensificam a ZCAS através da intensificação da circulação entre o oceano e o continente. A nebulosidade associada a este sistema faria com que menor intensidade de radiação de onda curta incidisse sobre o oceano, intensificando as anomalias negativas de TSM, observando-se assim retroalimentação entre a nebulosidade associada à ZCAS e as anomalias de TSM.

Comparativamente ao norte do Nordeste Brasileiro (NEB) menor quantidade de trabalhos tem avaliado a importância das anomalias de TSM do Atlântico sobre a convecção de outras áreas da América do Sul no período de verão. Neste período ocorre o período chuvoso principal na maior parte desta região (Rao & Hada, 1990) e corresponde também à fase de desenvolvimento e amadurecimento da circulação de monção sobre a região tropical e subtropical da América do Sul (Zhou & Lau, 1998). Chaves & Nobre (2004) e Chaves & Ambrizzi (2005) mostram através de experimentos numéricos que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) causa o aparecimento de anomalias negativas de TSM ou a desintensificação das anomalias positivas de TSM no Atlântico Sul sob este sistema. Chaves (2005) e Chaves (2006) mostram que a influência da TSM do Atlântico Norte sobre a convecção da América do Sul é significativa apenas na costa norte da América do Sul no período de dezembro-janeiro-fevereiro. Assim, a TSM sobre o Atlântico Norte tem pouca influência na previsibilidade da convecção sobre maior parte da América do Sul nos meses de verão. Aumentando, assim, a necessidade de melhor entender como o Atlântico Sul influencia a convecção da América do Sul.

O objetivo deste trabalho é identificar e descrever como os principais padrões de anomalia de TSM do Atlântico Sul (0° a 40°S) estão associados com a convecção de verão da América do Sul e áreas adjacentes através de métodos estatísticos como a Análise de Componentes Principais (ACP), a análise de Decomposição em Valores Singulares (SVD) e a análise de compostos. Nesse trabalho está se considerando o período de dezembro a fevereiro de 1979 a 2001. Na Figura 1 encontram-se a área

oceânica e a área da atmosfera consideradas neste trabalho. A área 1 representa a área da atmosfera (50°S a 10°N e 90°W a 0°) na qual é considerada a influência das anomalias de TSM da bacia do Atlântico Sul, representada pela área 2.

METODOLOGIA

Padrões de variabilidade das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul

Os principais modos das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul são determinados através da ACP. Esta técnica é aplicada à matriz de correlação dos dados de anomalia não normalizada de TSM do COADS para a área 40°S ao Equador e 50°W a 20°E para o período de 1979 a 2001. Com a finalidade de facilitar a comparação com outros trabalhos, como por exemplo, Venegas et al. (1997), preferiu-se trabalhar com os dados não normalizados. O mesmo procedimento foi aplicado aos dados normalizados pelo desvio-padrão das anomalias de TSM com resultados similares aos obtidos com os dados não normalizados. A variabilidade das anomalias de TSM é avaliada a partir de 1979 levando-se em conta a ocorrência de uma mudança climática significativa sobre o clima global na metade da década de 1970 (Mantua et al., 1997; Pierce et al., 2000) e também sobre a América do Sul (Obregon & Nobre, 2003). Segundo esses autores, a tendência linear negativa da precipitação anual sobre a faixa de máxima precipitação, associada à ZCAS, e tendência positiva sobre o sul do Brasil a partir da segunda metade da década de 1970 parecem estar associadas à mudança climática abrupta observada, relacionada à mudança da TSM dos oceanos, principalmente do Oceano Pacífico. Esta mudança climática abrupta teve repercussões sobre quase toda a América do Sul, com exceção do Nordeste do Brasil.

A apresentação dos três primeiros modos é feita considerando-se a regra de separação entre autovetores independentes sugerida por North et al. (1982). Nesta regra considera-se que o número de autovetores retidos deve ser tal que a diferença entre autovalores subsequentes deva ser menor que o erro de amostragem. A diferença entre o terceiro e o quarto autovalor é menor que o erro de amostragem, indicando dependência entre estes modos, ou seja:

$$\lambda_3 - \lambda_4 < \lambda_3 \left(\frac{2}{N} \right)^{1/2} \quad (1)$$

na qual, λ refere-se ao autovalor e N ao tamanho da série.

A associação destes modos de variabilidade das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul com as anomalias de TSM de outras áreas oceânicas é avaliada através da correlação linear entre

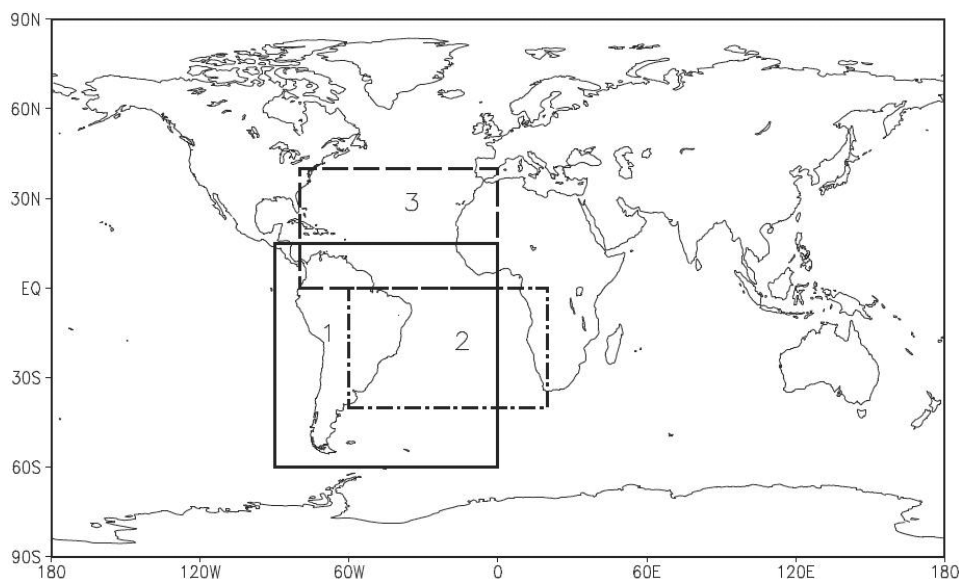


Figura 1 – Áreas consideradas: Área da atmosfera (1; —), do Atlântico Sul (2; ----) e do Atlântico Norte (3; -.-).

as séries temporais destes modos e as anomalias de TSM entre 40°S e 40°N. Estas séries temporais também são correlacionadas com as anomalias de ROL para o mesmo domínio indicado acima com o objetivo de avaliar a associação destes modos com a convecção sobre a América do Sul e também com a convecção de grande escala. A significância estatística destas correlações é determinada através do teste de *t*-Student's e para obter o número de graus de liberdade efetivo das séries temporais dos modos de variabilidade das anomalias de TSM, considera-se o coeficiente de autocorrelação destas séries com defasagem de 1 mês (Wilks, 1995). A análise discreta de Fourier é utilizada para determinar as frequências dominantes nas séries temporais das Componentes Principais, cujo comprimento é de 276 meses.

Modos acoplados das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e de ROL sobre a América do Sul e áreas adjacentes para DJF de 1979/2001

Os padrões de acoplamento entre os campos de TSM do Oceano Atlântico Sul (40°S ao Equador e 50°W a 20°E) e os campos de ROL sobre a América do Sul e áreas adjacentes (40°S a 20°N e 90°W a 20°W) são determinados aplicando-se a análise de SVD à matriz de covariância das anomalias normalizadas destes dados. O período de DJF 1979/2001 é considerado nesta análise.

O campo de correlação entre a série temporal dos dados de anomalias de TSM (ROL) com os dados de anomalia de TSM (ROL) recebe a denominação de campo *homogêneo* de TSM (ROL). Enquanto o campo de correlação da série temporal dos dados de anomalias de ROL (TSM) com os dados de anomalia

de TSM (ROL) recebe a denominação de campo *heterogêneo* das anomalias de TSM (ROL). Este é um procedimento estatístico que tem como finalidade fazer uma melhor avaliação da associação entre os modos acoplados (Trenberth et al., 2002). Assim como na ACP, as séries temporais da SVD das anomalias de TSM e ROL são correlacionadas com dados de anomalia de TSM entre 40°S e 40°N, ao invés de somente com os dados da área para a qual estes modos foram determinados, com o objetivo de verificar a associação destes modos com as anomalias de TSM de regiões remotas.

Na determinação das frequências dominantes da série temporal associadas aos Vetores Singulares, considera-se a média dos meses de dezembro de um determinado ano e janeiro e fevereiro do ano subsequente, obtendo-se assim uma série temporal com 23 elementos. Como o comprimento destas séries temporais é curto, os resultados obtidos com a análise discreta de Fourier devem ser vistos com cautela, pois podem não ser significativos.

Associação dos modos acoplados da TSM sobre o Atlântico Sul e variáveis atmosféricas sobre a América do Sul e áreas adjacentes

Os padrões obtidos com a análise de SVD não representam a real relação física entre os campos de dados e sim a estrutura da covariância entre estes (Newman & Sardeshmukh, 1995). A técnica de composto é utilizada para verificar se a relação entre as anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e a convecção sobre a América do Sul e áreas adjacentes, obtida através da análise de SVD, também é encontrada nos dados observados. Na formação

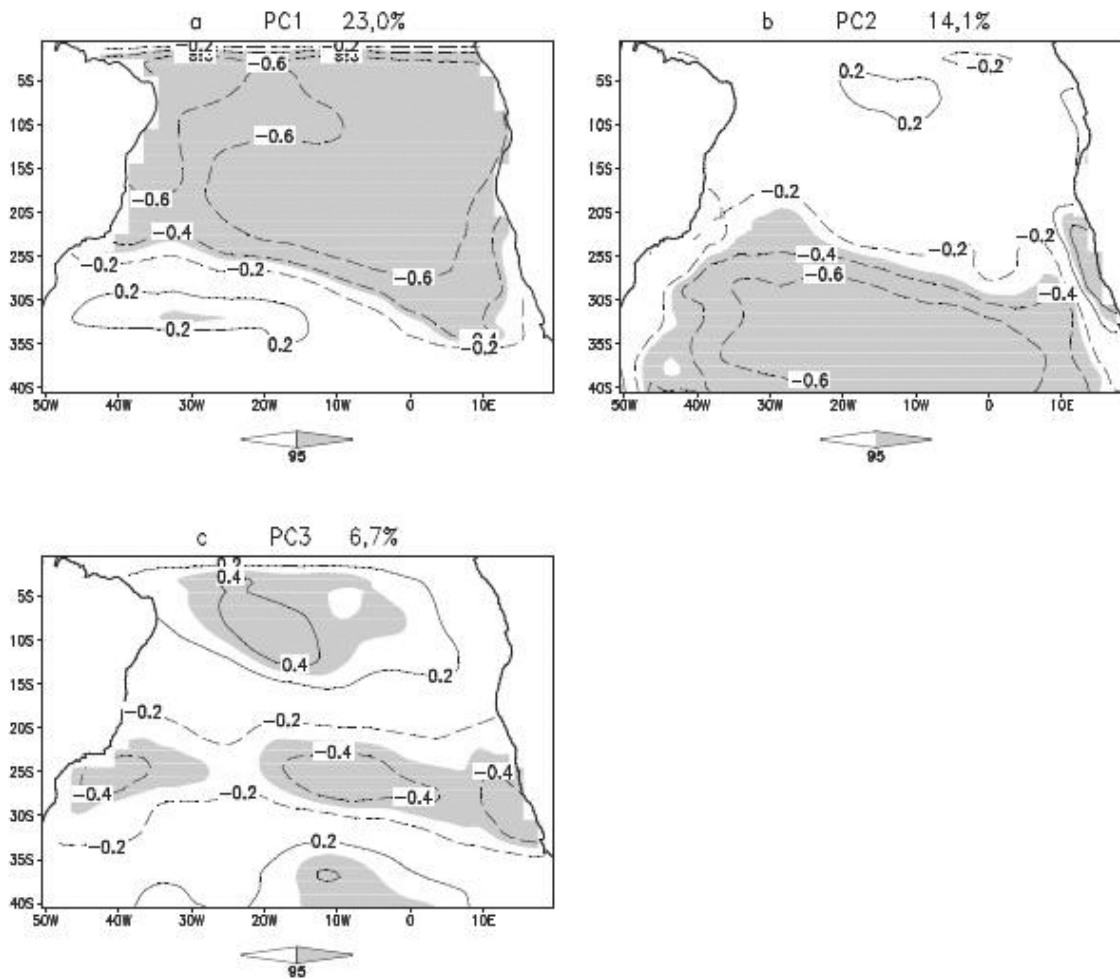


Figura 2 – Padrão espacial dos três primeiros autovetores das anomalias não normalizadas de TSM sobre o Oceano Atlântico Sul (1979 a 2001). Tom de cinza representa valores com nível de significância estatística acima de 95% segundo o t -Student's.

destes compostos são considerados apenas os eventos nos quais as amplitudes da série temporal dos dados de anomalia normalizada de TSM são 30% maiores que o valor absoluto da amplitude máxima da série temporal de cada modo. Para cada modo são obtidos dois campos para cada variável (anomalia de ROL, vento em 850hPa e TSM), um associado às amplitudes negativas e outro às amplitudes positivas da série temporal associada aos Vetores Singulares das anomalias de TSM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Padrões de variabilidade das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul

O padrão espacial do primeiro autovetor das anomalias não normalizadas de TSM sobre o Atlântico Sul para o período de 1979 a 2001 explica 23,0% da variância (Fig. 2a). Este padrão mostra

anomalias de mesmo sinal sobre quase toda a área aqui considerada, com maior variabilidade destas na parte central e leste desta bacia. A estrutura espacial deste primeiro padrão é similar à apresentada por Venegas et al. (1997) para o primeiro padrão das anomalias não normalizadas de TSM entre 50°S ao Equador e 70°W a 20°E para o período de 1953-1992, também com os dados do COADS.

A série temporal associada ao primeiro padrão das anomalias de TSM sobre o Oceano Atlântico Sul mostra acentuada variabilidade interanual e intrasazonal (Fig. 3a). No entanto, em anos de El-Niño (La-Niña) intensos, como em 1982/1983 e 1997/1998 (1998/2000), esta série temporal não apresenta amplitudes acentuadas, indicando que este modo não apresenta forte associação com o fenômeno ENSO. Apesar das frequências dominantes desta série temporal, 5,6 e 2,5 anos (Fig. 4a) estarem dentro da faixa de frequência do ENSO (Obregon, 2001). No campo de correlação

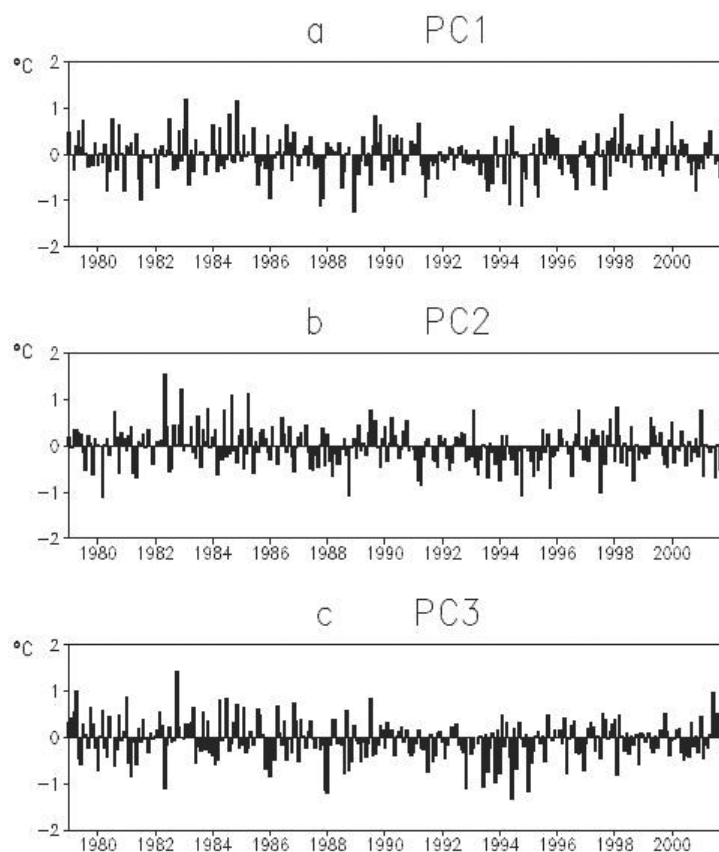


Figura 3 – Séries temporais dos três primeiros autovetores ($^{\circ}\text{C}$) das anomalias não normalizadas de TSM sobre o Atlântico Sul (1979 a 2001).

entre a série temporal deste modo com as anomalias de TSM de outras áreas oceânicas não é observado alto valor de correlação (Fig. 5a), exceto sobre o Índico Sudeste e o Pacífico Sudoeste, aparentemente, este modo parece ser intrínseco ao Atlântico Sul.

O segundo e terceiro padrão das anomalias de TSM (Figs. 2b, c) também são similares aos apresentados por Venegas et al. (1997). O segundo padrão explica 14,0% da variância e apresenta estrutura com orientação NW/SE (Fig. 2b). Este modo está associado à variabilidade da TSM de áreas oceânicas remotas, como o Índico Sudoeste, Pacífico e Atlântico Norte e em menor intensidade à TSM do Pacífico Equatorial Leste (Fig. 5b). A série temporal associada a este modo mostra flutuações de escala interanual e interdecadal (Fig. 3b) e aparentemente esta última é dominante, com frequência de 11,6 anos (Fig. 4b).

O terceiro modo de variabilidade das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul explica 6% da variância. Este modo apresenta três centros de ação com estrutura meridional (Fig. 2c), as anomalias de TSM apresentam o mesmo sinal na região equatorial e subtropical e sinal inverso na região central, assim como em Venegas et al. (1997). A série temporal deste terceiro modo (Fig.

3c) apresenta maior variabilidade interanual em relação aos dois primeiros modos, com frequências dominantes em torno de 3,8 anos e 1,4 ano (Fig. 4c). Estes valores estão dentro da faixa de frequência do fenômeno ENSO. O campo de correlação entre a série temporal deste modo e as anomalias de TSM entre 40°S e 40°N (Fig. 5c) mostra que este está associado à variabilidade da TSM do Pacífico Equatorial, indicando que a maior variabilidade interanual deste modo pode estar associada ao fenômeno ENSO.

Curtis & Hastenrath (1995) e Alexander et al. (2002) mostram que a influência do padrão ENSO sobre a TSM do Atlântico Norte é mais significativa que sobre a TSM do Atlântico Sul para o período 1948-1993 e 1950-1999, respectivamente. Enfield & Mayer (1997) mostram que existe associação entre o ENSO e as anomalias de TSM do Atlântico Sul, porém esta não é significativa. Os resultados aqui apresentados são consistentes com os trabalhos acima, uma vez que os dois principais modos de variabilidade das anomalias de TSM do Atlântico Sul estão associados à variabilidade da TSM das regiões subtropicais do Pacífico e apenas o terceiro modo mostra associação com as anomalias de TSM do Pacífico tropical.

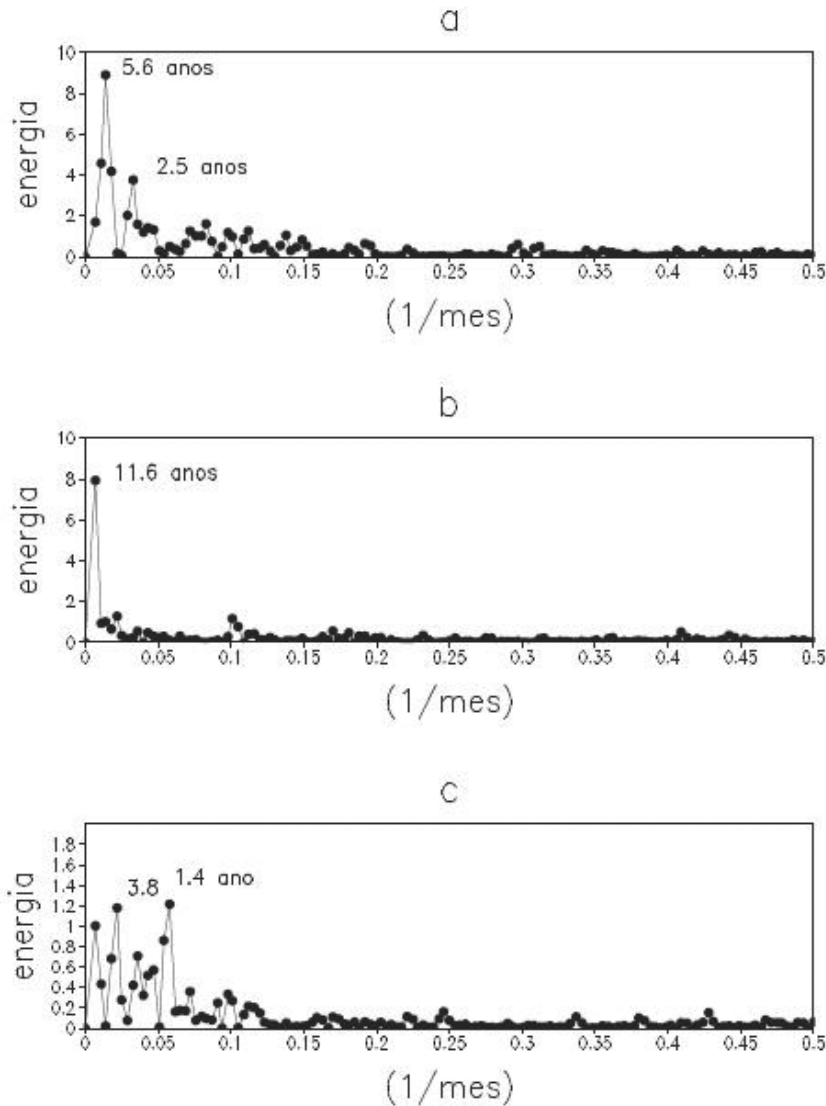


Figura 4 – Periodograma das séries temporais dos três primeiros autovetores das anomalias não normalizadas de TSM sobre o Atlântico Sul (1979 a 2001).

A Figura 6 mostra o campo de correlação entre as séries temporais do primeiro e terceiro autovetores das anomalias de TSM no Atlântico Sul e as anomalias de ROL entre 40°S e 40°N. Nesta análise, o segundo modo não é considerado, uma vez que este apresenta predominância de variabilidade interdecadal, que não é a escala de interesse deste trabalho.

O campo de correlação para o primeiro autovetor indica que as anomalias negativas de TSM sobre o Atlântico Sul estão associadas com anomalias de ROL abaixo da média sobre a região tropical desta bacia (Fig. 6a). Sobre a região equatorial e subtropical do Atlântico Sul o comportamento é inverso, ou seja, a convecção nestas regiões está associada com anomalias positivas de TSM sobre o Atlântico Sul. Sobre as latitudes subtropi-

cais do Atlântico Sul (~30°S e ~10°W) as anomalias de TSM apresentam relação inversa com as anomalias de ROL, ou seja, aparentemente, a convecção sobre a porção oceânica da ZCAS está associada com o aquecimento da TSM na maior parte do Atlântico Sul.

O campo de correlação entre a série temporal do terceiro autovetor e as anomalias de ROL também apresenta configuração associada ao ENSO (Fig. 6b). Sobre a América do Sul os padrões de anomalia de ROL são típicos da fase negativa deste fenômeno, com aumento da convecção sobre as latitudes subtropicais da América do Sul e diminuição da convecção sobre o NEB. Esses resultados são consistentes com Díaz et al. (1998), Barros et al. (2000) e Doyle & Barros (2002). Segundo esses autores,

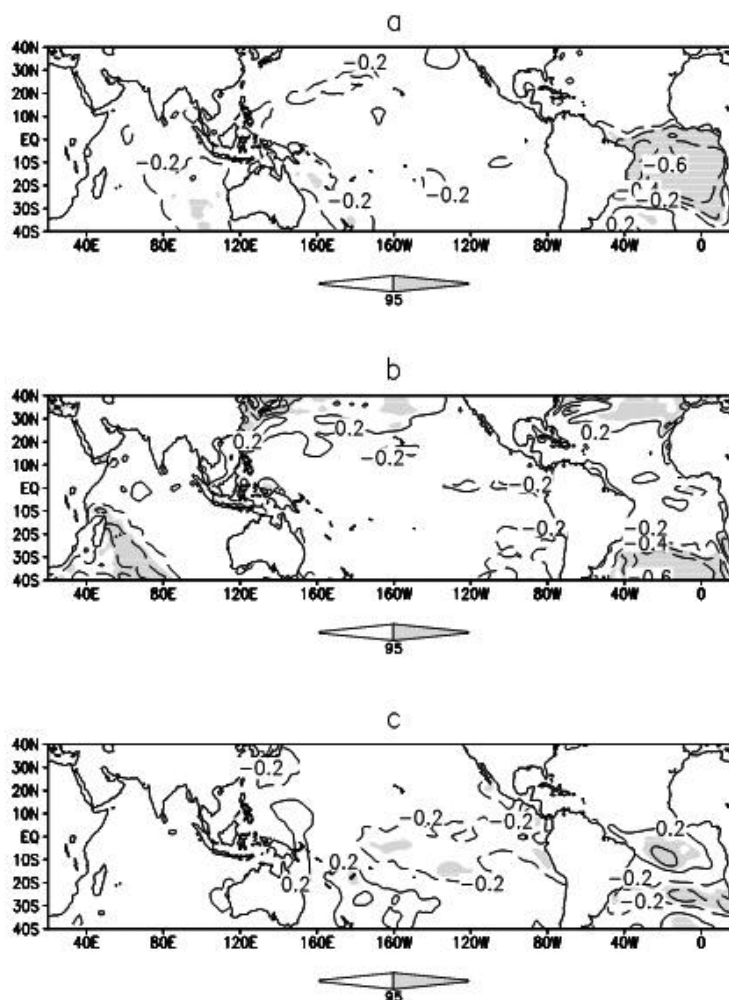


Figura 5 – Campo de correlação entre as séries temporais dos três primeiros autovetores das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e as anomalias de ROL (1979 a 2001) entre 40°S e 40°N. Tom de cinza representa valores com nível de significância estatística acima de 95% segundo o *t*-Student's.

a convecção acima da média na região subtropical da América do Sul está associada com as anomalias positivas de TSM do Oceano Atlântico Sudoeste.

Os campos de correlação entre as séries temporais do primeiro e terceiro modo de variabilidade das anomalias de TSM com os dados de anomalia de ROL com defasagem -1 (dados de TSM defasados em um mês em relação aos dados de ROL; Figs. 7a, c) e defasagem $+1$ (dados de TSM adiantados em um mês em relação aos dados de ROL; Figs. 7b, d) mostram que sobre a América do Sul e áreas adjacentes os valores de correlação tendem a ser ligeiramente maiores à medida que se aumenta da defasagem -1 para $+1$. Este resultado indica, aparentemente, que nestes modos a atmosfera exerce maior influência sobre a TSM do Atlântico Sul e não o inverso.

Venegas et al. (1997) mostram no primeiro modo acoplado da SVD, entre as anomalias de TSM e de pressão no nível do mar sobre o Atlântico Sul, que as anomalias atmosféricas lideram as anomalias de TSM nesta bacia com uma antecedência de aproximadamente dois meses. Dommenget & Latif (2000) também mostram que o Atlântico tropical é forçado pela atmosfera.

Padrões de acoplamento entre as anomalias de ROL sobre a América do Sul e áreas adjacentes e anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul para DJF de 1979/2001

Os três principais modos de acoplamento, obtidos através da SVD, entre os dados de anomalia de TSM sobre o Atlântico Sul e de ROL sobre a América do Sul e áreas adjacentes explicam

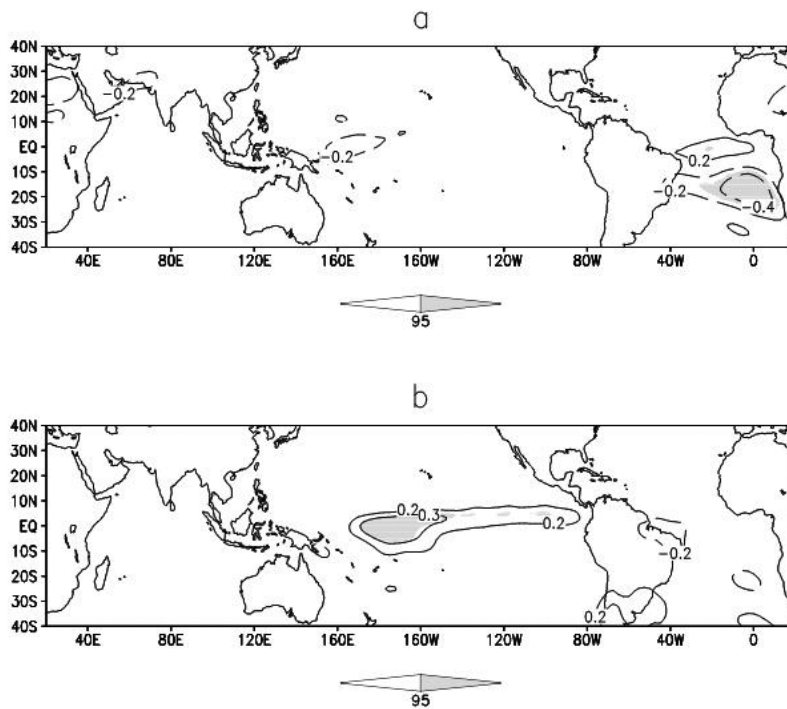


Figura 6 – Campo de correlação entre as séries temporais do primeiro (a) e terceiro (b) autovetores das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e as anomalias de ROL entre 40°S e 40°N. Tom de cinza representa valores com nível de significância estatística acima de 95% segundo o *t*-Student's.

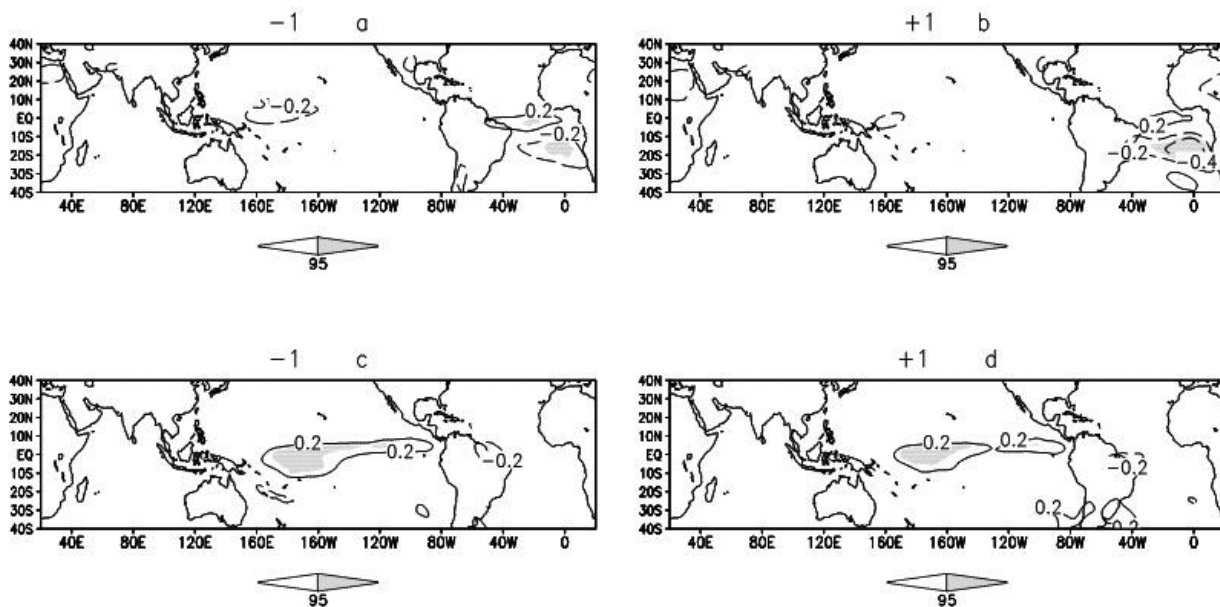


Figura 7 – Campos de correlação entre as séries temporais do primeiro (a, b) e terceiro (c, d) autovetor das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e as anomalias de ROL entre 40°S e 40°N, com defasagem -1 (a, c) e com defasagem $+1$ (b, d) dos dados de TSM. Tom de cinza representa valores com nível de significância estatística acima de 95% segundo o *t*-Student's.

Tabela 1 – Correlação entre as séries temporais dos vetores singulares.

	SV1 TSM	SV2 TSM	SV3 TSM	SV1 ROL	SV2 ROL	SV3 ROL
SV1 TSM	1,00	0,26	0,25	0,67	0,00	0,00
SV2 TSM		1,00	0,24	0,00	0,60	0,00
SV3 TSM			1,00	0,00	0,00	0,56
SV1 ROL				1,00	-0,32	-0,27
SV2 ROL					1,00	0,02
SV3 ROL						1,00

15,7%, 8,3%, 7,3% da covariância, respectivamente. Os coeficientes de correlação linear entre as séries temporais associadas aos vetores singulares dos dois conjuntos de dados são 0,67, 0,61 e 0,56, para o primeiro, segundo e terceiro modo acoplado, respectivamente, indicando que para um mesmo modo existe associação entre as séries temporais das duas variáveis. A Tabela 1 mostra os coeficientes de correlação entre as séries temporais de todos os modos. Considerando uma mesma variável, os valores de correlação são baixos, indicando que estes modos acoplados da SVD apresentam pouca dependência entre si.

Os campos de TSM dos três principais modos acoplados entre os dados mencionados acima estão associados com a variabilidade da TSM do Pacífico tropical e em menor intensidade com a variabilidade da TSM do Oceano Índico e Pacífico Norte, como mostram os campos *homogêneos* e *heterogêneos* das anomalias de TSM (Fig. 8). O terceiro modo apresenta menor associação com as anomalias do Pacífico tropical em relação aos demais (Figs. 8c, f).

Os padrões verificados nos campos *heterogêneos* de ROL (Figs. 9d, e, f), corroboram o resultado acima obtido através da ACP, mostrando que a influência das anomalias de TSM do Atlântico Sul na convecção da América do Sul e áreas adjacentes não é tão acentuada como indicam os campos *homogêneos* de ROL (Figs. 9a, b, c). Estes campos *homogêneos* refletem mais a variabilidade de outros modos, como por exemplo, o ENSO ou ainda a variabilidade das anomalias de TSM do Oceano Índico e do Pacífico Norte, que a variabilidade da TSM do Atlântico Sul.

O primeiro modo de acoplamento (Figs. 8a e 9d), cujo campo de anomalia de TSM é similar ao primeiro padrão das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul (Fig. 2a), indica que o aumento da convecção no norte da América do Sul e em parte do NEB está associado com o resfriamento do Atlântico Sul. Enquanto a convecção sobre a região subtropical da América do Sul está associada com o aquecimento da TSM na área indicada acima. As maiores amplitudes das séries temporais deste primeiro modo acoplado coincidem com os anos de eventos inten-

tos do ENSO, como em 1982/83 e 1997/98 (Fig. 10a), corroborando a associação deste modo acoplado com a variabilidade da TSM do Pacífico tropical. Estes modos de acoplamento apresentam variabilidade interanual, com períodos dominantes em torno de 5,5 e 2,2 anos (Fig. 11a).

No segundo modo acoplado, a convecção acima da média sobre o sul do NEB e também sobre o Atlântico Sul tropical está associada com o resfriamento da região tropical desta bacia (Figs. 8b e 9e). O campo *homogêneo* de ROL para este modo (Fig. 9b) é similar ao quarto modo da EOF das anomalias de precipitação sobre a América do Sul determinado por Paegle & Mo (2002). Estas autoras mostram que este padrão está mais associado ao ENSO que a variabilidade das anomalias de TSM do Atlântico Sul. Neste modo a série temporal dos dados de ROL apresenta intensa variabilidade interanual, com frequências dominantes de 4,4 anos e 2,7 anos (Figs. 10b e 11b).

O campo *homogêneo* de anomalia de ROL do terceiro modo acoplado mostra configuração da ZCAS, com estas anomalias estendendo-se do continente em direção ao Atlântico Sul com orientação NW/SE (Fig. 9c). No entanto, no campo *heterogêneo* de ROL esta configuração não aparece (Fig. 9f). Desta forma, este padrão associado à ZCAS, está associado à variabilidade de outras forçantes e não à variabilidade da TSM do Atlântico Sul. Neste modo, a TSM desta bacia mostra pouca influência sobre a convecção da América do Sul, com a convecção sobre o centro da Amazônia e sobre o Atlântico Sul, associada com anomalias negativas de TSM sobre esta bacia (Figs. 8c e 9f).

As séries temporais dos dois primeiros modos acoplados são caracterizadas por intensa variabilidade interanual. Enquanto que as séries temporais do terceiro modo (Fig. 10c) estão associadas principalmente com flutuações de escala decadal, com variabilidade em torno de 11,6 anos (Fig. 11c). Neste modo, observa-se também variabilidade interanual com período em torno de 3,1 anos. Em diversos outros trabalhos (e.g. Venegas et al., 1997; Metha, 1998) têm sido identificados modos de anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul com variabilidade de escala decadal.

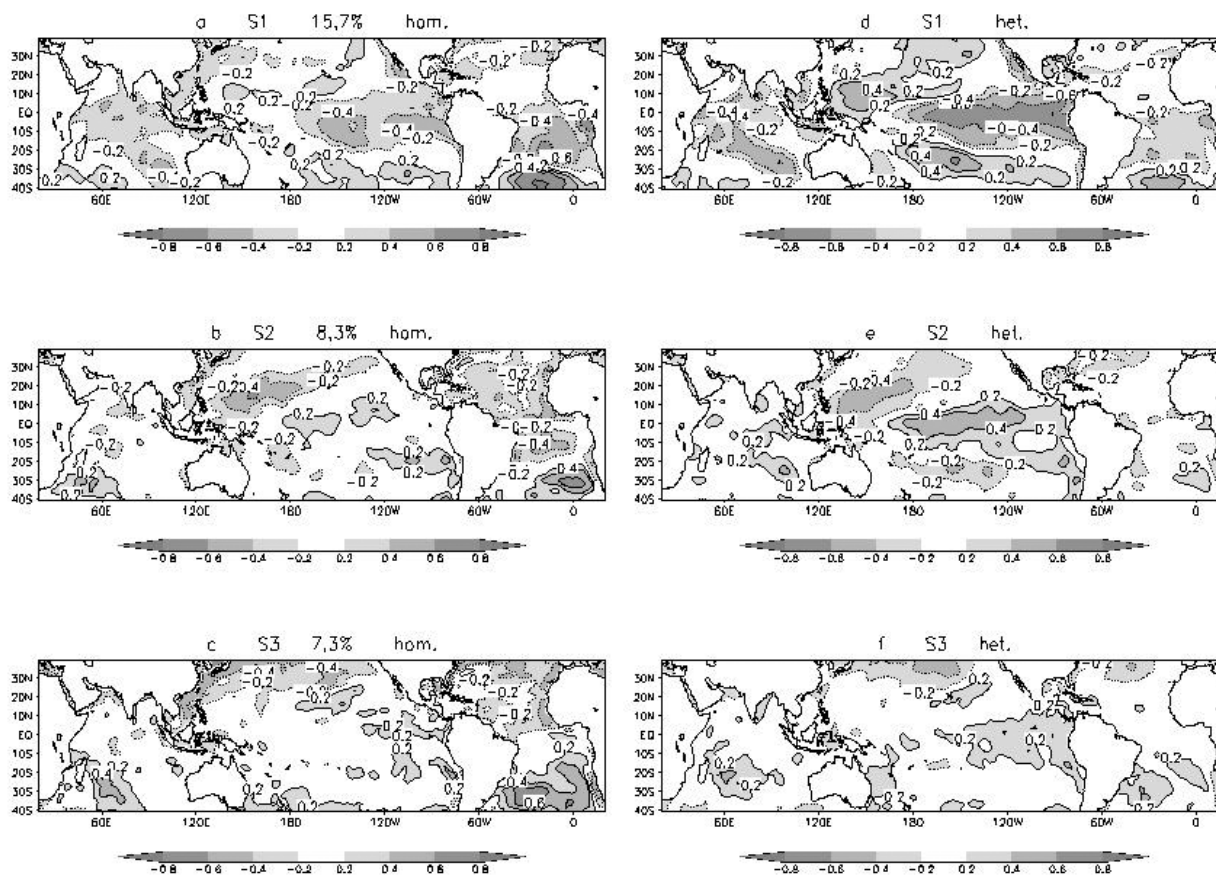


Figura 8 – Campos *homogêneos* (a, b, c) e *heterogêneos* (d, e, f) de TSM dos três primeiros modos da SVD entre as anomalias normalizadas de ROL sobre a América do Sul e de TSM sobre o Atlântico Sul para DJF 1979/2001. Valores de correlação acima de 0,21 apresentam significância estatística no nível de 90% segundo o *t*-Student's.

Associação dos modos acoplados das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul e variáveis atmosféricas sobre a América do Sul e áreas adjacentes

Na análise de compostos apenas as séries temporais dos dois primeiros modos acoplados são consideradas, uma vez que estes apresentam predominância de variabilidade de escala interanual e também explicam maior parte da variância. As datas dos campos utilizados na formação dos compostos encontram-se na Tabela 2. Os campos de anomalia de ROL e de TSM obtidos através dos compostos é similar aos padrões acoplados destas variáveis obtidas através da SVD, mostrando a consistência dos dois métodos.

Os campos dos compostos de anomalia de ROL (Figs. 12a, b) e de TSM (Figs. 12e, f), formados a partir da série temporal de TSM do primeiro modo acoplado mostram que a convecção sobre a porção oceânica da ZCAS e nas latitudes subtropicais da América do Sul está associada com as anomalias positivas de

TSM sobre o Atlântico Sul. Os compostos dos campos de anomalia de vento mostram que neste modo a intensificação da porção oceânica da ZCAS está associada com a desintensificação dos alísios e da Alta Subtropical do Atlântico Sul (Fig. 12d). Sobre as latitudes subtropicais da América do Sul a convecção está associada com o aquecimento (resfriamento) da TSM no Atlântico Sul tropical (subtropical). Enquanto a desintensificação da porção oceânica da ZCAS está associada com a intensificação do escoamento a leste dos Andes e com a intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Estas figuras apresentam escala longitudinal diferente das anteriores para melhor visualizar as configurações associadas à ZCAS.

Os campos dos compostos das anomalias de ROL (Figs. 13a, b), associados ao segundo modo acoplado mostram que a convecção sobre o leste da Amazônia, sul do NEB e norte da região Sudeste do Brasil apresentam comportamento aproximadamente inverso em relação ao sinal das anomalias de TSM do Atlântico tropical (Figs. 13e, f). A convecção sobre estas regiões

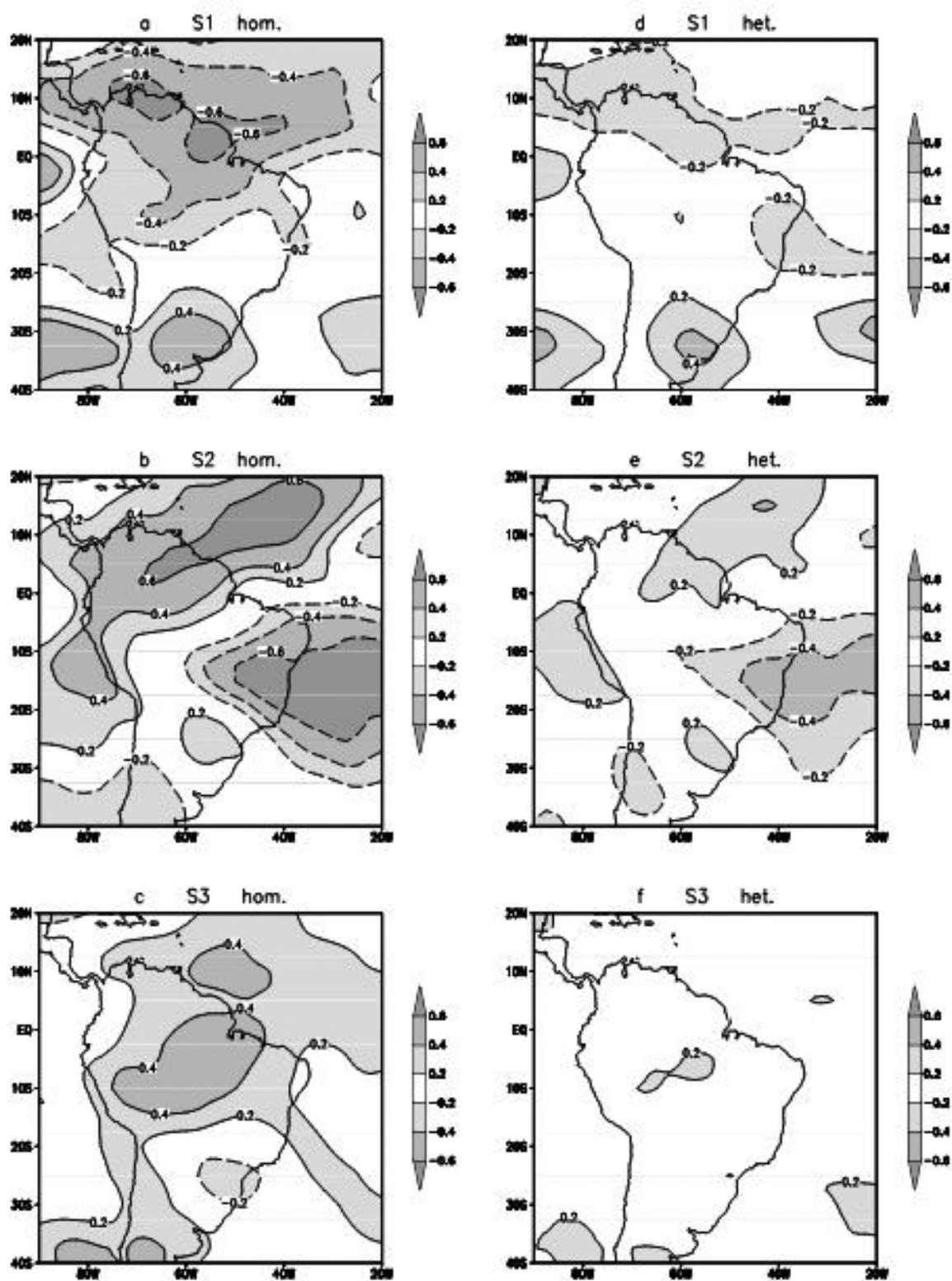


Figura 9 – Campos *homôgeneos* (a, b, c) e *heterogêneos* (d, e, f) de ROL dos três primeiros modos da SVD entre as anomalias normalizadas de ROL sobre a América do Sul e de TSM sobre o Atlântico Sul para DJF de 1979/2001. Valores de correlação acima de 0,21 apresentam significância estatística no nível de 90% segundo o *t*-Student's.

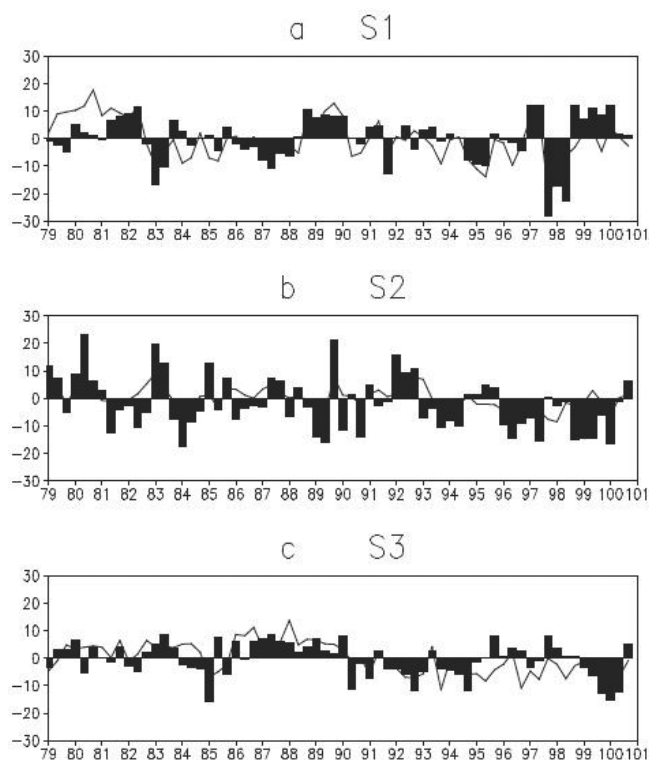


Figura 10 – Série temporal dos três primeiros modos da SVD para as anomalias normalizadas de ROL (barras) sobre a América do Sul e as anomalias normalizadas de TSM (linhas) sobre o Atlântico Sul para DJF 1979/2001. No eixo horizontal 100 e 101 representam os anos 2000 e 2001, respectivamente.

Tabela 2 – Datas dos campos utilizados na formação dos compostos de anomalia de ROL, vento e TSM.

PC 1 Amplitude +	fev. 79; dez. 79; jan. 80; fev. 80; dez. 80; jan. 81; fev. 81; dez. 81; jan. 82; fev. 82; jan. 89; fev. 89; dez. 89; jan. 90; fev. 91; jan. 97; fev. 97
PC 1 Amplitude –	jan. 83; jan. 84; fev. 84; jan. 85; fev. 85; fev. 87; fev. 90; dez. 93; dez. 94; jan. 95; fev. 95; fev. 96; dez. 97; jan. 98; fev. 99
PC 2 Amplitude +	jan. 79; fev. 79; jan. 80; fev. 80; dez. 82; jan. 83; fev. 83; jan. 85; dez. 85; jan. 87; fev. 87; dez. 89; fev. 91; dez. 92; jan. 93; fev. 2000
PC 2 Amplitude –	fev. 85; fev. 86; fev. 89; dez. 94; jan. 97; fev. 97; dez. 97; jan. 98; fev. 98; dez. 98; jan. 99; dez. 2000

está associada com o resfriamento (aquecimento) da porção noroeste (sudeste) do Atlântico Sul e com o escoamento anômalo da Amazônia em direção ao sul do NEB (Figs. 12c, d).

CONCLUSÕES

A Análise de Componentes Principais mostra que o primeiro modo das anomalias de TSM do Atlântico Sul, que aparentemente é intrínseco a esta bacia, apresenta predominância de variabilidade interanual e está associado com a variabilidade da convecção sobre o sul do NEB e sobre a porção tropical desta bacia.

O terceiro modo também apresenta acentuada variabilidade interanual e está associado ao ENSO. Por outro lado, o segundo modo das anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul está associado com flutuações de escala interdecadal.

A análise de SVD e de compostos mostram que a convecção sobre a porção oceânica da ZCAS e nas latitudes subtropicais da América do Sul está associada com anomalias positivas de TSM sobre o Atlântico Sul e com a desintensificação dos alísios de sudeste. Este resultado em parte diverge de Robertson & Mechoso (2000), estes mostram que intensificação da ZCAS

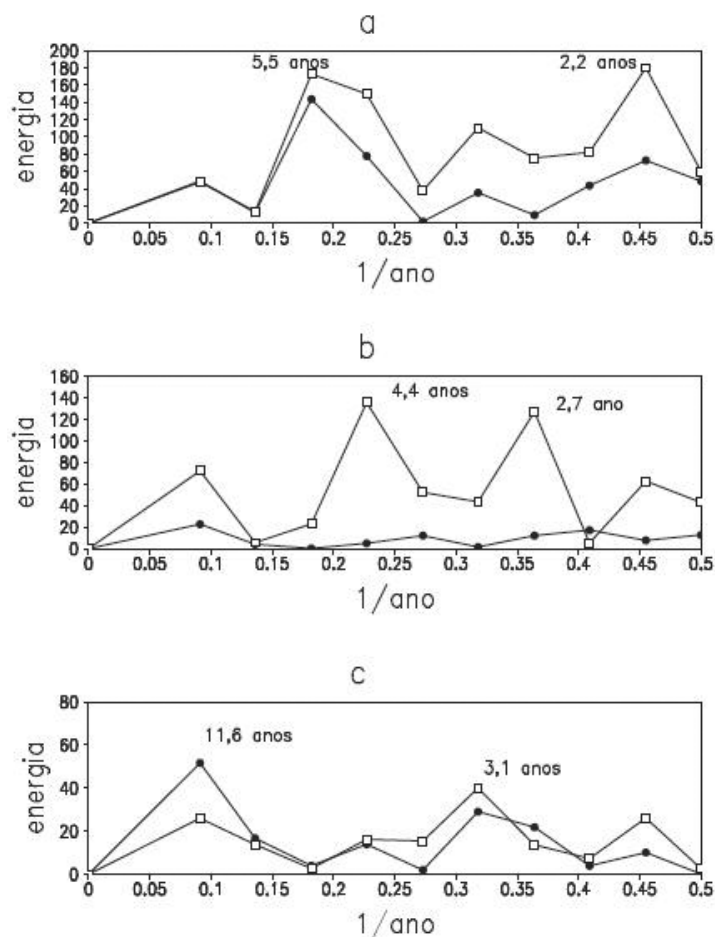


Figura 11 – Periodograma das séries temporais dos três primeiros modos da SVD para os dados de anomalia normalizada de ROL (□) e de TSM (●).

está associada com o resfriamento da região tropical e subtropical do Atlântico Sul em escala interanual e interdecadal. Estes autores sugerem que a intensificação da ZCAS, quando o Atlântico encontra-se com anomalias de TSM negativas, está associada com a intensificação da circulação de monção, com a TSM forçando a convecção sobre a América do Sul através intensificação do fluxo de umidade do oceano para o continente. A divergência entre os resultados aqui encontrados e os de Robertson & Mechoso (2000) pode ser devido aos diferentes períodos de análise, nos quais pode ter havido predominância de um determinado padrão. Ou seja, pode ser que para o período de análise considerado por esses autores, entre 1958 e 1997, tenha havido predominância do segundo modo acoplado determinado neste artigo. Ainda, nesse trabalho os padrões de variabilidade da TSM foi determinado para os meses de verão e para um período distinto dos trabalhos aqui citados e estes modos foram associados à convecção sobre a América do Sul.

Os resultados da análise de SVD e de compostos mostram para o segundo modo acoplado que a convecção sobre o sul do Nordeste e norte do Sudeste do Brasil está associada com o resfriamento (aquecimento) da porção noroeste (sudeste) do Atlântico Sul. Nestas condições observa-se escoamento anômalo da Amazônia em direção ao sul do Nordeste. Nas regiões norte e sudeste da América do Sul a convecção está associada com o aquecimento (resfriamento) da porção oeste e noroeste (sudeste) do Atlântico Sul. Estes resultados são consistentes com os trabalhos, Diaz et al. (1998), Barros et al. (2000) e Doyle & Barros (2002). Estes mostram que a convecção sobre o continente está associada com a variabilidade da TSM sobre esta bacia, encontrando a mesma associação aqui determinada.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à FAPERJ (APQ1171.225/2006) e ao CNPq (PQ-309189/2008) pelo apoio financeiro ao seu trabalho.

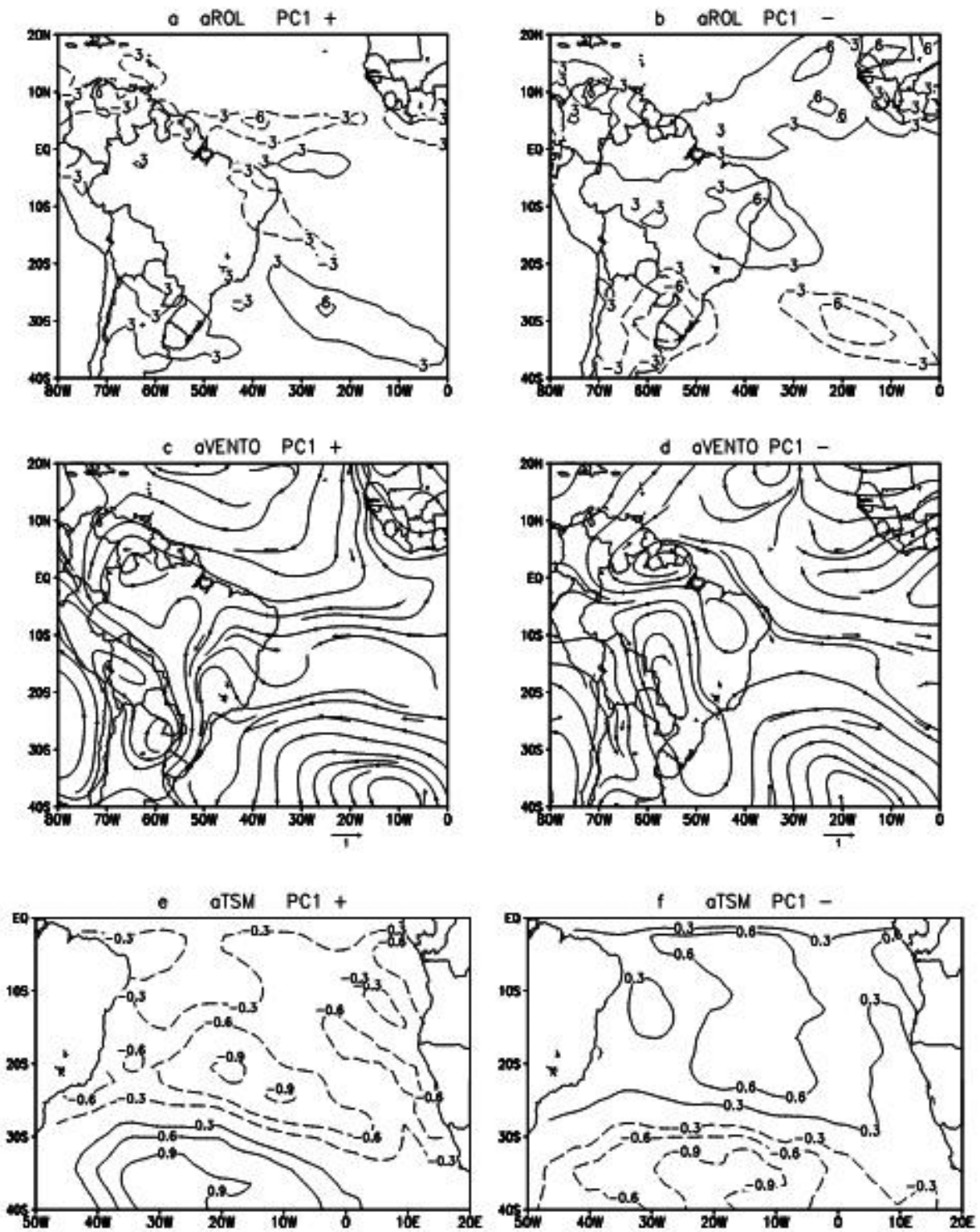


Figura 12 – Compostos das anomalias de ROL (a, b; Wm^{-2}), vento em 850hPa (c, d; m/s) e TSM (e, f; $^{\circ}C$) para as amplitudes positivas (esquerda) e negativas (direita) da série temporal do primeiro modo acoplado da SVD para os dados de anomalia normalizada de TSM sobre o Atlântico Sul.

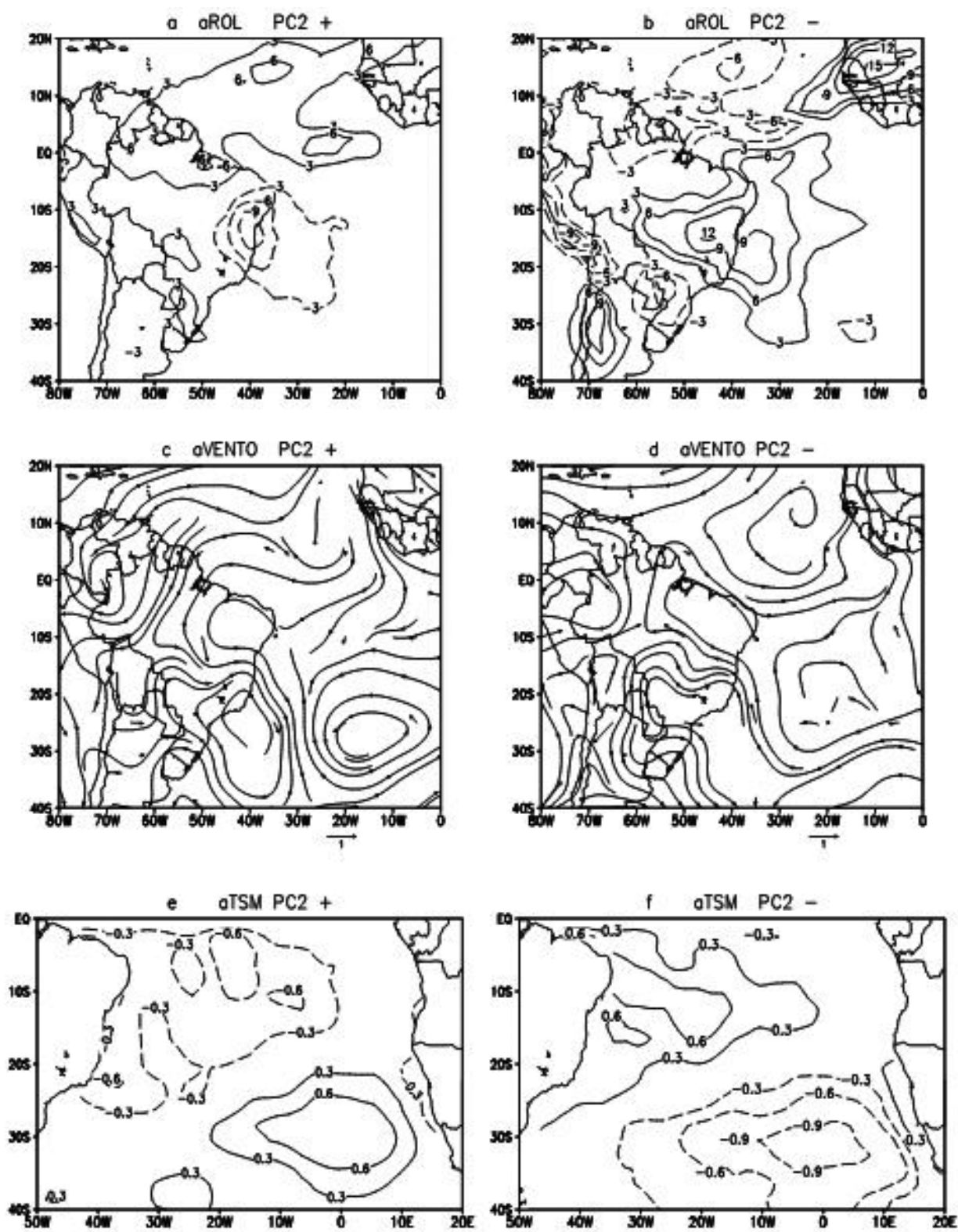


Figura 13 – Como a Figura 12, mas para o segundo modo acoplado da SVD.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER MA, BLADÉ I, NEWMAN M, LANZANTE JR, LAU N-C & SCOTT JD. 2002. The atmosphere bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans. *J. Climate*, 15: 2205–2231.
- BARROS V, GONZALEZ M, LIEBMANN B & CAMILLONI I. 2000. Influence of the South Atlantic Convergence Zone and South Atlantic sea surface temperatures on interannual summer rainfall variability in southeastern South America. *Theor. Appl. Climatol.*, 67: 123–133.
- CHAVES RR. 2005. Padrões da temperatura da superfície do Oceano Atlântico Norte e a convecção de verão sobre a América do Sul – Análise observacional. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23(1): 27–38.
- CHAVES RR. 2006. Associação entre a TSM do Atlântico Norte e a convecção de verão sobre a América do Sul – Simulações numéricas. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2): 243–250.
- CHAVES RR & AMBRIZZI T. 2005. Atmospheric Response for two Convection Schemes in Sensitivity Experiments using SST Anomalies over the South Atlantic Ocean. *Clivar Newsletter Exchanges*, 33: 25–27.
- CHAVES RR & NOBRE P. 2004. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophys. Res. Lett.*, 31: doi: 10.1029/2003GL018647.
- CURTIS S & HASTENRATH S. 1995. Forcing of anomalous sea surface temperature evolution in the tropical Atlantic during Pacific warm events. *J. Geophys. Res. – Oceans*, 100: 15835–15847.
- DIAZ AF, STUDZINSKI CD & MECHOSO CR. 1998. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *J. Climate*, 11: 251–271.
- DOMMENGET D & LATIF M. 2000. Interannual to decadal variability in the tropical Atlantic. *J. Climate*, 13: 777–792.
- DOYLE ME & BARROS VR. 2002. Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature Anomalies in the South Atlantic. *J. Climate*, 15: 3394–3410.
- ENFIELD DB & MAYER DA. 1997. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño–Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 102: 929–945.
- MANTUA NJ, HARE SR, ZHANG Y, WALLACE JM & FRANCIS RA. 1997. Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78: 1069–1079.
- METHA VM. 1998. Variability of the tropical ocean surface temperatures at decadal-multidecadal timescales. Part I: the Atlantic Ocean. *J. Climate*, 11: 2351–2375.
- NEWMAN M & SARDESHMUKH PD. 1995. A Caveat Concerning Singular Value Decomposition. *J. Climate*, 8: 352–360.
- NORTH GR, BELL TL, CAHALAN RF & MOENG FJ. 1982. Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions. *Mon. Wea. Rev.*, 110: 699–706.
- OBREGON GOP. 2001. Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul. São José dos Campos. (INPE-8604-TDL/789) Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 198 p.
- OBREGON GOP & NOBRE CA. 2003. Rainfall trends in Brazil. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84: 1008–1009.
- PAEGLE JN & MO KC. 2002. Linkages between summer rainfall variability over South America and sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, 15: 1389–1407.
- PIERCE DW, BARNETT TP & LATIF M. 2000. Connections between the Pacific Ocean Tropics and midlatitudes on decadal time-scale. *J. Climate*, 13: 1173–1194.
- RAO VB & HADA K. 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. *Theor. Appl. Climatol.*, 42: 81–91.
- ROBERTSON AW & MECHOSO CR. 2000. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. *Mon. Wea. Rev.*, 128: 2947–2957.
- TRENBERTH KE, STEPANIAK DP & CARON JM. 2002. Interannual variations in the atmospheric heat budget. *J. Geophys. Res.*, 107: 15137–15146.
- VENEGAS SA, MYSAK LA & STRAUB DN. 1997. Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic. *J. Climate*, 10: 2904–2920.
- WILKS DS. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an Introduction*, Cambridge: Academic Press, 464 p.
- ZHOU J & LAU K-M. 1998. Does a monsoon climate exist over South America? *J. Climate*, 11: 1020–1040.

NOTA SOBRE O AUTOR

Rosane Rodrigues Chaves. Meteorologista pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, com Mestrado e Doutorado em Meteorologia pelo INPE. Professora Associada da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF no Laboratório de Meteorologia – LAMET (2005-2011). Atualmente, Professora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.