

ESTUDO CLIMATOLÓGICO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO SOBRE O BRASIL EM EPISÓDIOS EXTREMOS DA OSCILAÇÃO SUL

CAIO AUGUSTO DOS SANTOS COELHO
ANITA RODRIGUES DE MORAES DRUMOND
TÉRCIO AMBRIZZI

Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico
Universidade de São Paulo

Rua do Matão, 1226. Cidade Universitária - CEP : 05508-900 - São Paulo, SP, Brasil
e-mail: cacoelho@model.iag.usp.br; anitadru@model.iag.usp.br; ambrizzi@model.iag.usp.br

GILVAN SAMPAIO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Rod. Presidente Dutra, km 40 - CEP : 126300-000 - Cachoeira Paulista, SP, Brasil
e-mail: sampaio@cptec.inpe.br

RESUMO

Utilizando-se de dados de 206 estações meteorológicas de superfície da rede nacional do INMET, realizou-se um estudo climatológico sazonal de precipitação sobre o Brasil durante eventos classificados como fortes/moderados e fracos de El Niño e La Niña. Os campos apresentados referem-se às médias entre as anomalias de precipitação acumulada sazonal dos eventos: El Niño forte/moderado (1965/66, 1968/69, 1972/73, 1976/77, 1982/83, 1991/92 e 1997/98), El Niño fraco (1963/64, 1974/75, 1979/80, 1986/87 e 1993/94), La Niña forte/moderada (1967/68, 1970/71, 1973/74, 1985/86 e 1988/89) e La Niña fraca (1964/65, 1975/76, 1984/85 e 1995/96). Apresenta-se ainda uma breve descrição da climatologia de precipitação sobre o Brasil, assim como uma análise de anomalias de precipitação sazonais para o evento El Niño 1997/98. Os resultados indicam, para um dado trimestre, distinções nas características do padrão de precipitação entre os eventos forte/moderado e fraco. Para o evento El Niño 1997/98, as observações mostram anomalias positivas ao Sul e negativas ao Norte do País.

ABSTRACT

Using datasets from 206 meteorological stations over Brasil, a seasonal precipitation climatologic study by the occurrence of El Niño/La Niña episodes classified as strong/moderate or weak was made. The fields presented refer to means between seasonal anomalies of precipitation observed in strong/moderate El Niño events (1965/66, 1968/69, 1972/73, 1976/77, 1982/83, 1991/92 and 1997/98), weak El Niño events (1963/64, 1974/75, 1979/80, 1986/87 and 1993/94), strong/moderate La Niña events (1967/68, 1970/71, 1973/74, 1985/86 and 1988/89) and weak La Niña events (1964/65, 1975/76, 1984/85 and 1995/96). It is also shown a brief description of the precipitation climatology over Brasil as well as an analysis of the seasonal precipitation anomalies for the 1997/98 El Niño event. Results indicate, for a given season, different characteristics of the precipitation pattern between the strong/moderate and weak events. For the 1997/98 El Niño event, the observations show positive anomalies in the south and negative anomalies in the north part of the country.

1. INTRODUÇÃO

Anomalias de precipitação em várias regiões tropicais parecem estar relacionadas a um modo de varia-

ção de grande escala conhecido cientificamente como Oscilação Sul (OS). A OS é uma flutuação existente na Pressão ao Nível do Mar (PNM) entre a alta subtropical do Pacífico Sudeste e a baixa pressão numa

região que engloba o oceano Índico, desde a África até o norte da Austrália. Há mais de meio século, Sir Gilbert Walker (1924, 1928) iniciou os estudos das características e extensão das oscilações da PNM (veja também Rasmusson e Carpenter, 1982; Kousky et al., 1984; para uma revisão bibliográfica mais completa). As variações da OS são medidas por meio de índices. Um destes índices é conhecido como Índice de Oscilação Sul (IOS) e é definido como a diferença normalizada entre a PNM em Tahiti ($17^{\circ} 33' S$, $149^{\circ} 31' W$) e Darwin ($12^{\circ} 20' S$, $130^{\circ} 52' E$), que representam os dois centros de ação mencionados acima. Dessa forma, quando o IOS é negativo (positivo), ou seja Tahiti apresenta anomalias negativas (positivas) de PNM e Darwin apresenta anomalias positivas (negativas) de PNM, a atmosfera está sob influência de episódios extremos negativos (positivos) da OS, isto é, sob influência do fenômeno El Niño (La Niña).

Alguns estudos indicam que as variações da precipitação sobre a América do Sul e em, particular, sobre algumas regiões do Brasil, estão relacionados à OS. Stockenius (1981) observou que a precipitação sobre a Região Nordeste do Brasil tem significativa correlação positiva com o Índice de Oscilação Sul (IOS). Características semelhantes às encontradas por Stockenius (1981) também foram obtidas por Ropelewski e Halpert (1987) sobre o Nordeste da América do Sul. Já para o Sul da América do Sul, neste último trabalho, os autores não encontraram fortes correlações.

Aceituno (1988) estudou o funcionamento da OS sobre a América do Sul e ao redor do Atlântico Tropical e Oceano Pacífico Leste. Com relação à precipitação sobre o Brasil, ele encontrou que, durante o Verão Austral da fase negativa da OS, condições relativamente secas prevalecem sobre a Região Nordeste do Brasil e sobre parte da Bacia Amazônica. Sinais mais fracos, com tendência de condições relativamente mais úmidas, foram notados na Bacia do Rio Paraná, no período inicial do Verão Austral.

Rao e Hada (1990) também indicam que as variações da precipitação sobre a América do Sul e particularmente sobre algumas regiões do Brasil estão relacionadas à OS. Neste trabalho, estes dois autores mostram que os sinais do coeficiente de correlação entre a OS e a precipitação sobre o Estado do Rio Grande

do Sul são significativamente expressivos tanto para o trimestre da estação chuvosa, quanto para o trimestre antecedente à mesma.

Usando análises de séries temporais de precipitação mensal de 250 estações meteorológicas no Sul do Brasil (englobando os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), Grimm (1997a) encontrou que esta região tem uma consistente relação entre anomalias de precipitação e eventos de El Niño/La Niña. Anomalias positivas (negativas) ocorrem principalmente na Primavera do ano de El Niño (La Niña) e no Outono-Inverno do ano seguinte, concordando com resultados anteriores (p.ex., Rao e Hada, 1990; e Ropelewski e Halpert, 1987). Aspectos dinâmicos entre a relação de chuvas no sul do Brasil e eventos de El Niño foram estudados por Grimm (1997b) através do uso de funções de influência. Seus resultados sugerem uma possível relação entre a presença de uma anomalia ciclônica a Sudoeste do Brasil, favorecendo o aumento de chuvas na Região Sul, e a posição de convecção mais intensa em uma região bem definida do Pacífico Central e Leste.

Atualmente, existe um grande interesse em busca do entendimento de como os sinais característicos relacionados ao El Niño e à La Niña variam espacialmente de um evento para outro. Além disso, procura-se, ainda, a distinção entre os padrões do ciclo anual da circulação atmosférica e as alterações realmente provocadas devido à manifestação dos fenômenos caracterizados por extremos da OS. Entretanto, os fenômenos El Niño/La Niña podem afetar o padrão de precipitação de diferentes formas, pois entre as peculiaridades dos eventos extremos de OS estão as variabilidades de suas características, tais como a sua intensidade, posição dos máximos de convecção, entre outras. Assim, um conhecimento climatológico relacionado à precipitação durante episódios El Niño/La Niña poderia melhorar de forma significativa nossos conhecimentos durante a ocorrência destes eventos e beneficiar as previsões de tempo e clima de médio e longo prazos.

No presente trabalho, temos como objetivo a realização de um estudo climatológico sazonal da anomalia de precipitação acumulada sobre o

Brasil em anos caracterizados por extremos da OS, buscando a identificação de sinais característicos que surgiram nestas ocasiões.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados mensais de precipitação utilizados para o desenvolvimento do estudo aqui apresentado provêm de 206 estações meteorológicas de superfície da rede nacional do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), relativos ao período 1960-98 (Figura 1). As médias climatológicas mensais de cada estação foram retiradas de Normais Climatológicas, 1992. Após a interpolação dos dados, através do método 'Kriging' (Davis, 1986), foram elaboradas composições de campos médios sazonais de anomalias de precipitação para períodos caracterizados por manifestação de episódios extremos de Oscilação Sul (El Niño e La Niña).

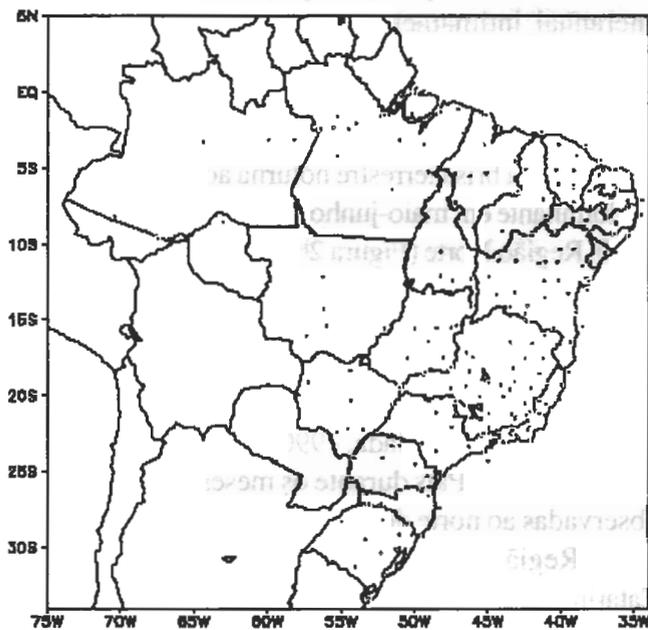


Figura 1 - Distribuição das 206 estações meteorológicas de superfície da rede nacional do INMET.

Os episódios foram classificados de acordo com sua intensidade assim como sugerido por Alves et al. (1997) e Diaz et al., 1992. Dessa forma, alguns episódios foram selecionados e subdivididos em quatro grupos: El Niño forte/moderado (1965/66, 1968/69, 1972/73, 1976/77, 1982/83, 1991/92 e 1997/98), El

Niño fraco (1963/64, 1974/75, 1979/80, 1986/87 e 1993/94), La Niña forte/moderada (1967/68, 1970/71, 1973/74, 1985/86 e 1988/89) e La Niña fraca (1964/65, 1975/76, 1984/85 e 1995/96). Assim, foram realizados estudos sazonais de composições médias de anomalias de precipitação acumulada entre todos os episódios classificados em cada grupo. Os resultados apresentados para os meses de Inverno e Primavera referem-se ao ano de início do fenômeno. Para o Verão, são utilizados os meses referentes ao término do primeiro ano (dezembro) e início do segundo (janeiro e fevereiro). Os meses de Outono estudados pertencem ao ano seguinte da manifestação do evento.

Utilizando-se ainda deste mesmo conjunto de dados, na seção 4.2 é apresentado um estudo climatológico sazonal de anomalias de precipitação acumulada para os trimestres de Inverno (junho/julho/agosto de 1997), Primavera (setembro/outubro/novembro de 1997), Verão (dezembro-1997/janeiro/fevereiro de 1998) e Outono (março/abril/maio de 1998), referentes ao episódio El Niño 1997/98.

3. CICLO ANUAL DA PRECIPITAÇÃO SOBRE O BRASIL

Inicialmente, discutiremos a variação sazonal do padrão de precipitação nas distintas regiões do Brasil, auxiliando, desta forma, a compreensão da influência da OS sobre a precipitação no País. Cada uma das quatro estações será analisada separadamente, procurando enfatizar os fatores dinâmicos atuantes em cada período.

3.1 Trimestre Dezembro/Janeiro/Feveireiro - Verão Austral

Durante os meses de Verão, observa-se, através da Figura 2a, uma faixa com orientação noroeste-sudeste apresentando índices pluviométricos entre 700 e 900 mm, abrangendo as Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Este padrão provém do deslocamento dos sistemas frontais, originários das altas latitudes que, ao atingirem as Regiões Sudeste e Centro-Oeste interagem com a convecção tropical (Kousky, 1979). Esta convecção está associada à advecção de umidade proveniente da Amazônia que, por sua vez, deve-se à

ação da corrente de jato em baixos níveis, que contorna a topografia da Cordilheira dos Andes em direção ao sul. Tal configuração de precipitação é conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Kodama, 1992 e 1993). Deve-se salientar que, durante este período, as Regiões Centro-Oeste e Sudeste apresentam suas maiores taxas sazonais de precipitação acumulada, caracterizando, assim, a estação chuvosa desta área.

Para a Região Sul (Figura 2a), os índices pluviométricos mostram-se inferiores (entre 400 e 500 mm) quando comparados aos das Regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste. Nesta estação, os processos ciclogênicos no Sul do País apresentam menor frequência quando comparada às outras estações do ano (Gan et al., 1991), reduzindo assim as taxas de precipitação na região. Dessa forma, a precipitação observada é basicamente convectiva. O litoral dos Estados de Santa Catarina e Paraná vivenciam sua estação chuvosa neste período.

A Região Nordeste (Figura 2a) apresenta uma variabilidade espacial marcante nos padrões de precipitação com índices entre 200 e 800 mm. Entre os fatores que influenciam os índices pluviométricos da região no Verão estão: a localização dos braços de subsidência das células de Hadley e Walker, posicionamento da ZCIT (Zona de Convergência Inter-Tropical), os sistemas frontais que atingem o Sul da região e os vórtices ciclônicos de altos níveis. Assim, notam-se regiões com maiores índices a oeste e ao sul, devido à influência dos padrões dominantes na Região Norte e a atuação de sistemas frontais, respectivamente. As localidades com índices inferiores, no nordeste da região, são influenciadas pela subsidência das circulações de Walker-Hadley e vórtices ciclônicos de altos níveis (Climanálise, 1986).

A Região Norte, além da ZCAS, sofre influência, entre outros fatores, do escoamento pelos Andes e da convergência noturna entre os alísios e a brisa terrestre (Climanálise, 1986). Durante o Verão (Figura 2a), os maiores índices, em torno de 900 mm, encontram-se ao sul desta região, devido à migração para o sul dos centros de convergência das circulações de Hadley-Walker. O sul da região tem seu máximo de taxa sazonal de precipitação acumulada durante o Verão, relacionado à migração anual da convecção tropical profun-

da (Rao e Hada, 1990).

3.2 Trimestre Março/Abril/Maio - Outono Austral

É importante ressaltar que os fatores que regem os padrões de precipitação durante o Verão são os mesmos que atuam nas outras estações, embora com diferentes implicações sinóticas e climatológicas.

A Figura 2b apresenta a redução das taxas sazonais de precipitação acumulada sobre as Regiões Centro-Oeste (taxas entre 300 e 600 mm) e Sudeste (entre 300 e 400 mm) que, durante o Inverno, presenciam a estação seca.

O norte e leste da Região Nordeste (Figura 2b) apresentam seus maiores índices sazonais de precipitação acumulada (valores entre 400 e 1000 mm). Um dos principais fatores é a migração anual da ZCIT, que atinge sua máxima posição Austral em março-abril. No entanto, esta posição apresenta uma variação interanual, intimamente relacionada com a variação interanual da taxa de precipitação sobre o Nordeste (Hastenrath e Heller, 1977; e Uvo, 1998). Outro fator é a existência de uma região de convergência dos ventos alísios com a brisa terrestre noturna ao longo da costa, predominante em maio-junho.

Na Região Norte (Figura 2b), a faixa compreendida entre 5°N e 5°S apresenta sua maior taxa sazonal de precipitação acumulada (entre 800 e 1300 mm), devido à migração anual dos centros de convergência das circulações de Hadley-Walker e da convecção tropical profunda (Rao e Hada, 1990). As maiores taxas de precipitação do País durante os meses de Outono são observadas ao norte desta região.

Na Região Sul (Figura 2b), os Estados de Santa Catarina e parte do Rio Grande do Sul apresentam suas taxas sazonais de precipitação acumuladas mínimas durante o Outono, em torno de 400 mm, concordando com Rao e Hada, (1990).

3.3 Trimestre Junho/Julho/Agosto - Inverno Austral

Durante o Inverno, a Região Sul é influenciada pela atuação de sistemas frontais, sistemas associados a vórtices ciclônicos ou cavados em altos níveis provenientes do Pacífico, sistemas que se organizam com in-

tensa convecção associada à instabilidade causada pelo jato subtropical, além de frontogêneses e ciclogêneses (Gan et al., 1991). Verifica-se, através da Figura 2c, que, exceto ao Norte do Paraná, onde os índices de precipitação são inferiores aos relativos às outras estações do ano (200 mm contra 400 mm em média nas demais estações), e no extremo Sul do País, que se caracteriza pela ocorrência de sua estação chuvosa durante o Inverno, a região apresenta um padrão de precipitação em geral similar ao observado no Outono, com 400 mm acumulados no trimestre.

As Regiões Sudeste e Centro-Oeste (Figura 2c) caracterizam-se por um período marcado por baixos índices pluviométricos (em geral entre 50 e 100 mm), definindo assim a estação seca. Conforme Schwerdtfeger (1976), o centro do País, durante o Inverno, é influenciado por um centro de alta pressão que inibe a precipitação nesta região.

O sul da Região Norte (Figura 2c) apresenta sua taxa sazonal mínima durante o trimestre em análise, com índices entre 100 e 200 mm, relacionada com a migração anual da convecção tropical profunda (Rao e Hada, 1990) que, durante o Inverno, se desloca para a região localizada no Hemisfério Norte.

Índices pluviométricos superiores a 500mm são encontrados na costa leste da Região Nordeste (Figura 2c), tendo como provável causa a convergência dos alísios com a circulação de brisa terrestre noturna (Climanálise, 1986). Contudo, o sertão apresenta índi-

ces mais baixos de precipitação (entre 50 e 200 mm).

3.4 Trimestre Setembro/Octubro/Novembro - Primavera Austral

Na Primavera, as Regiões Centro-Oeste, Sudeste e o centro-sul da Região Norte (Figura 2d) caracterizam-se pelo aumento dos índices pluviométricos, iniciando a formação da ZCAS.

Observa-se, ao oeste da Região Sul (Figura 2d), uma região com índices superiores a 500 mm, indicando a atuação dos Complexos Convectivos de Meso Escala (CCMs). As trajetórias dos CCMs geralmente originam-se na região a leste dos Andes, em torno de 25°S, e sobre os vales dos rios Paraná e Paraguai (Silva Dias, 1996). Em 25 casos de CCM estudados por Figueiredo e Scola (1996), 70 % deslocaram-se para leste e sudeste (atingindo o Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná) e 30 % deslocaram-se para nordeste e norte, atingindo a região Sudeste do Brasil e elevando assim os índices pluviométricos nestas regiões. Velasco e Fritsch (1987) indicam uma predominância de CCM nos subtrópicos na Primavera e Verão, concordando com as taxas de precipitação observadas na figura 2d sobre o Sul do País.

O extremo Norte do País e a Região Nordeste caracterizam-se por baixos índices (entre 50 e 100 mm). Entre os fatores estão a migração anual da convecção tropical profunda e da ZCIT, respectivamente



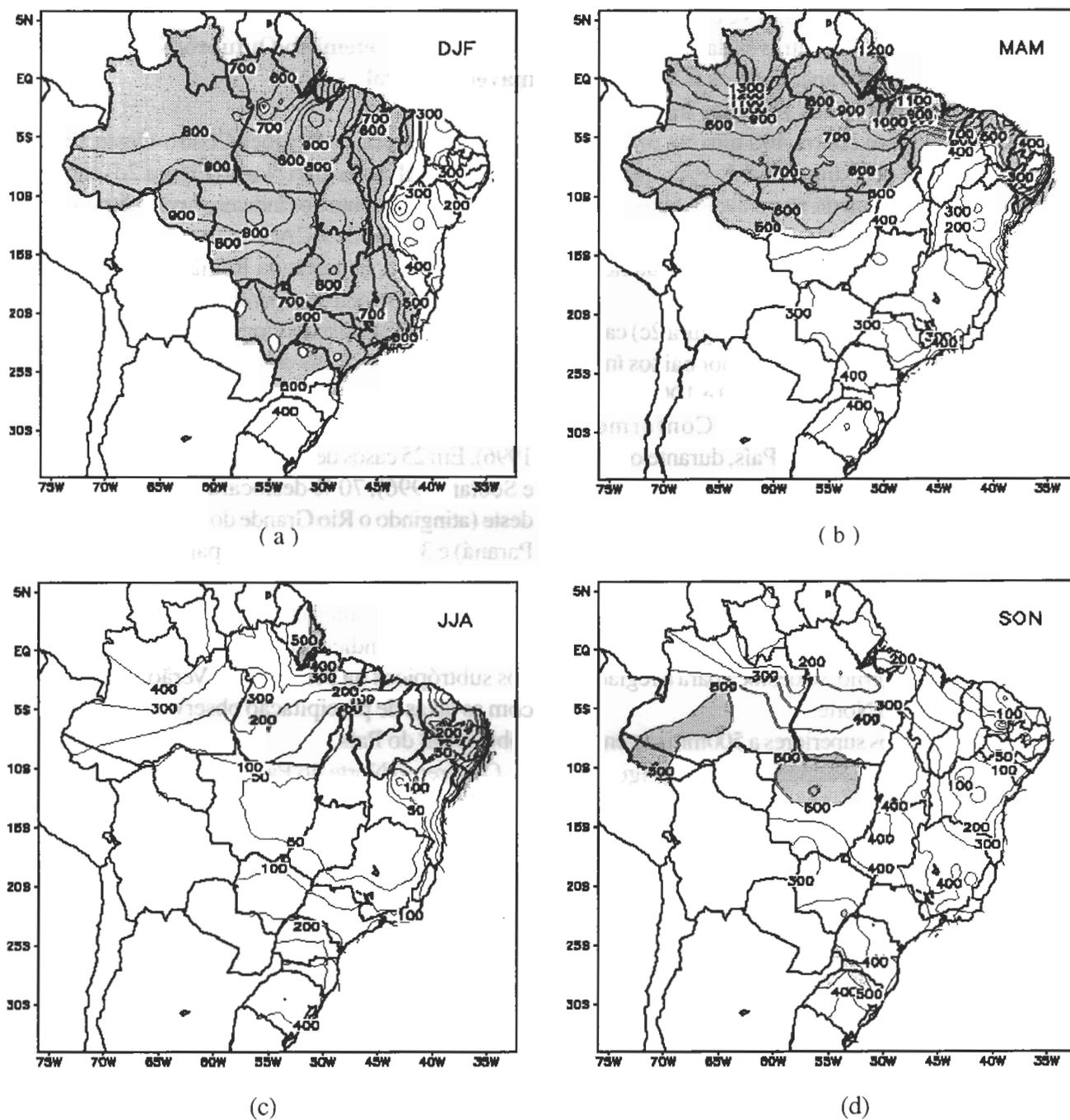


Figura 2 – (a) : Precipitação acumulada climatológica sobre o Brasil para o trimestre de Verão (dezembro/janeiro/fevereiro). (b) : o mesmo que (a) para o trimestre Outono (março/abril/maio). (c) : o mesmo que (a) para o trimestre Inverno (junho/julho/agosto). (d) : o mesmo que (a) para o trimestre de Primavera (setembro/outubro/novembro). Para valores de precipitação superiores a 100mm, o intervalo entre as isolinhas é de 100mm. Para valores inferiores, o intervalo é de 50mm. Os valores superiores a 500mm estão destacados em cinza.

(Uvo, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dada a distribuição das estações meteorológicas da rede do INMET apresentada na Figura 1, alerta-se que a confiabilidade nos resultados aqui apresentados para a Região Norte e parte da Centro-Oeste é inferior às demais regiões do País.

4.1 Análise Climatológica Sazonal de anomalias de precipitação em eventos de El Niño e La Niña

4.1.1 Verão

4.1.1.1 El Niño Forte/Moderado

Durante os meses de Verão dos episódios fortes/moderados de El Niño, observa-se, através da Figura 3a, que o noroeste da Região Nordeste, Estado do Mato Grosso e praticamente toda a Região Norte apresentam anomalias negativas entre -50 e -300 mm. São observadas ainda anomalias positivas (superiores a 100 mm) no Sul do País, centro do Estado da Bahia e na região da divisa dos Estados de Goiás e Mato Grosso.

4.1.1.2 El Niño Fraco

Para os episódios considerados fracos (Figura 3b), nota-se que os padrões descritos anteriormente para os episódios fortes/moderados durante o Verão são consideravelmente alterados, surgindo anomalias posi-

tivas superiores a 100 mm no extremo nordeste da Região Norte e em praticamente toda a Região Nordeste do Brasil. Observa-se, também, que a Região Sul não apresenta mais núcleos com anomalias positivas significativas, mas sim, regiões com anomalias negativas de -50 mm. Alterações são perceptíveis na Região Norte, que não apresenta uma área de anomalias negativas muito homogênea quando comparada com a observada na Figura 3a.

4.1.1.3 La Niña Forte/Moderada

Durante os eventos fortes/moderados de La Niña, são encontradas anomalias negativas entre -50 e -300 mm nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste, Maranhão e faixa oeste da Região Norte (Figura 3c). Há um grande núcleo de anomalias positivas superiores a $+100$ mm no centro da Região Norte (Figura 3c).

4.1.1.4 La Niña Fraca

Nos eventos fracos (Fig. 3d), as regiões com anomalias negativas, assim como as magnitudes das mesmas, são praticamente as mesmas observadas para os eventos fortes, com exceção da Região Sudeste e a faixa oeste da Região Norte que apresentam, agora, anomalias predominantemente positivas ($+100$ mm) e menos negativas (entre -50 e -100 mm), respectivamente. Anomalias positivas superiores a 100 mm são encontradas no centro da Região Norte, em pontos isolados do Estado da Bahia e em algumas porções da Região Sudeste.

4.1.2 Outono

4.1.2.1 El Niño Forte/Moderado

No Outono dos episódios fortes/moderados de El Niño, verificam-se, anomalias negativas entre -50 e -400 mm no extremo noroeste da Região Norte, norte da Região Centro-Oeste e interior da Região Nordeste (Figura 4a). Anomalias positivas entre $+50$ e $+100$ mm são observadas no nordeste da Região Norte e nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Figura 4a).

4.1.2.2 El Niño Fraco

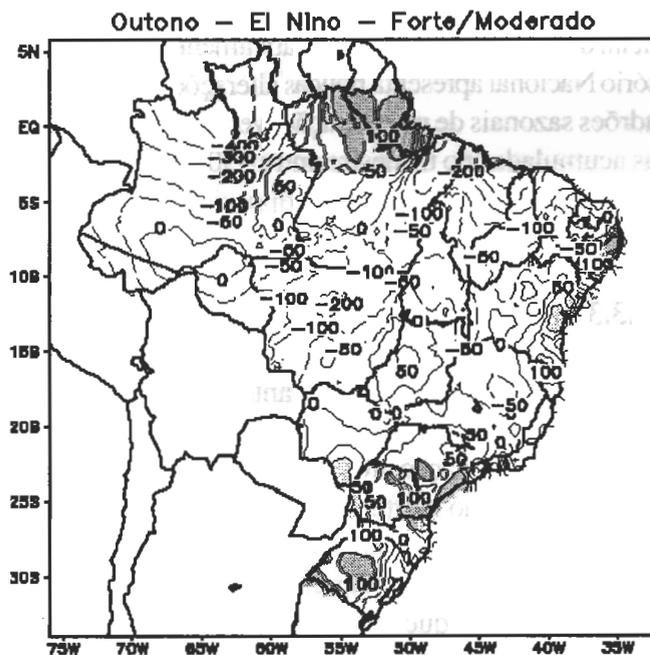
Para os episódios considerados fracos (Fig. 4b), as regiões caracterizadas por anomalias negativas assim como as magnitudes das anomalias são as mesmas descritas para os episódios fortes/moderados. Para as regiões com anomalias positivas, neste caso, além das mencionadas anteriormente para os episódios fortes/moderados inclui-se também o litoral da Região Nordeste e o oeste da Região Norte com índices anômalos entre $+100$ e $+200$ mm.

4.1.2.3 La Niña Forte/Moderada

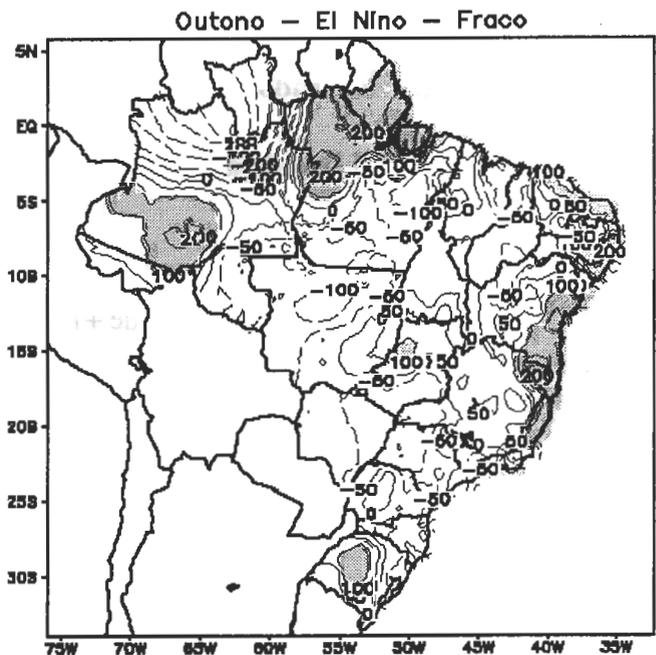
Observa-se, durante os eventos fortes/moderados de La Niña, a redução das regiões com anomalias negativas quando comparadas com as encontradas nos meses de Verão, sendo observadas anomalias negativas com magnitudes variando entre -50 e -400 mm no noroeste da Região Norte, e entre -50 e -100 mm em pontos isolados das Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Norte do Estado do Maranhão (Figura 4c). Anomalias positivas superiores a $+100$ mm são verificadas ao leste da Região Nordeste e ao centro da Região Norte.

4.1.2.4 La Niña Fraca

Nos eventos fracos (Fig. 4d), há anomalias negativas entre -50 e -300 mm ao noroeste da Região Norte e entre -50 e -100 mm em grande parte do Mato Grosso, além de anomalias positivas superiores a $+100$ mm em algumas áreas das Regiões Nordeste, Sul e Sudeste, Amapá e Oeste de Goiás.



(a)



(b)

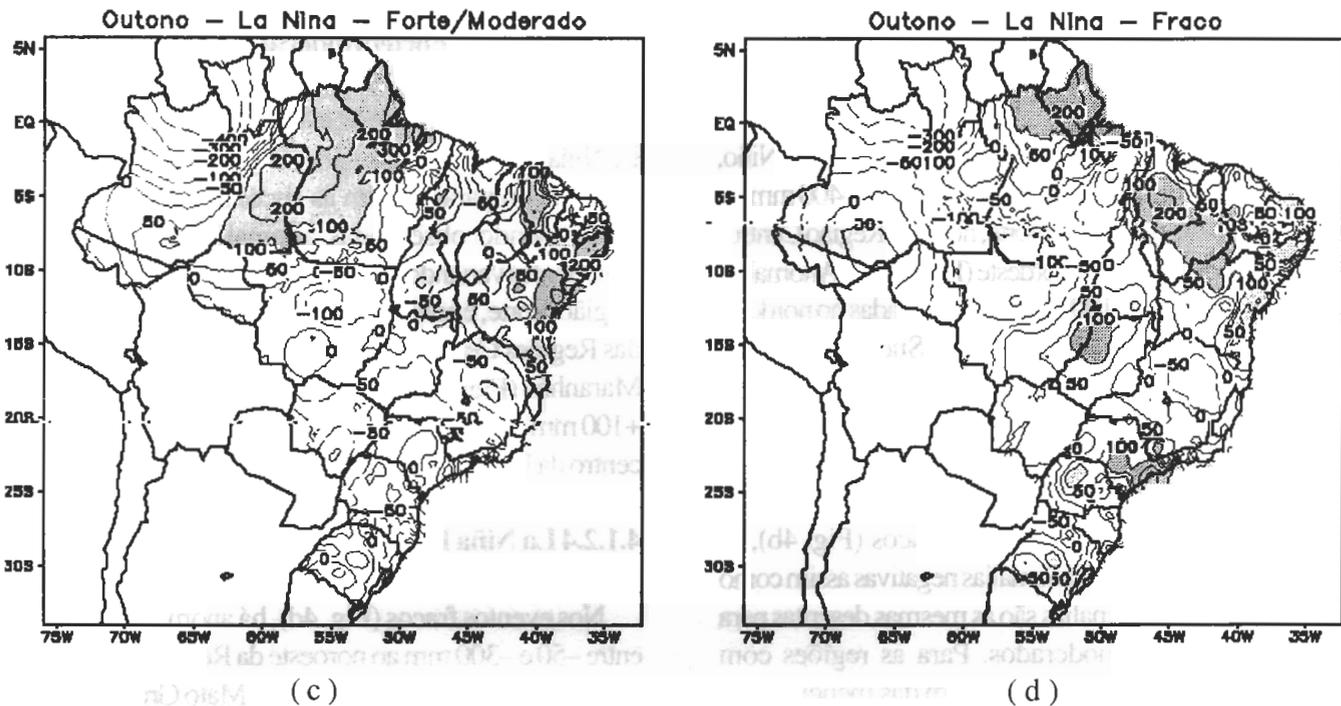


Figura 4 - (a): Média das anomalias de precipitação acumulada no Outono do segundo ano de manifestação dos episódios El Niño classificados como fortes/moderados. (b): o mesmo que (a) para os episódios classificados como fracos. (c): Média das anomalias de precipitação acumulada no Outono do segundo ano de manifestação dos episódios La Niña classificados como fortes/moderados. (d): o mesmo que (c) para os episódios classificados como fracos. Os intervalos entre as isolinhas são os mesmos utilizados na figura 3.

4.1.3 Inverno

4.1.3.1 El Niño Forte/Moderado

Durante episódios fortes/moderados de El Niño (Figura 5a) verificam-se anomalias negativas significativas (entre -50 e -100 mm) no extremo norte do Maranhão, Estado do Ceará e costa leste da Região Nordeste. Verificam-se anomalias positivas de +100 mm ao norte da Região Norte (Fig. 5a).

4.1.3.2 El Niño Fraco

As mesmas características descritas para os episódios fortes/moderados de El Niño também são observadas durante os meses de Inverno de episódios fracos do fenômeno, com exceção da Região Sul, que se caracteriza por anomalias negativas, entre -100 e -200 mm, em praticamente toda a sua extensão (Figura 5b).

Entretanto, ao observar as figuras 5a e 5b, nota-se

que, em geral, durante os meses de Inverno do ano inicial dos episódios El Niño, praticamente todo o Território Nacional apresenta poucas alterações quanto aos padrões sazonais de precipitação, verificando anomalias acumuladas no trimestre entre -50 e +50 mm em grande parte do País, o que proporciona anomalias mensais entre -16 e +16 mm aproximadamente.

4.1.3.3 La Niña Forte/Moderada e Fraca

Para os eventos La Niña, durante o Inverno do primeiro ano de manifestação, quase todo o País apresenta padrões de precipitação próximo à climatologia, exceto ao norte da Região Norte e litoral nordestino, onde se encontram anomalias positivas entre +50 e +300 mm nos eventos fortes/moderados (Figura 5c) e fracos (Figura 5d). Deve-se ressaltar que, durante esta estação, o País também não apresenta significativas alterações no padrão de precipitação durante os eventos El Niño (Figuras 5a e 5b).

Estudo climatológico sazonal da precipitação sobre o Brasil em episódios extremos da Oscilação Sul

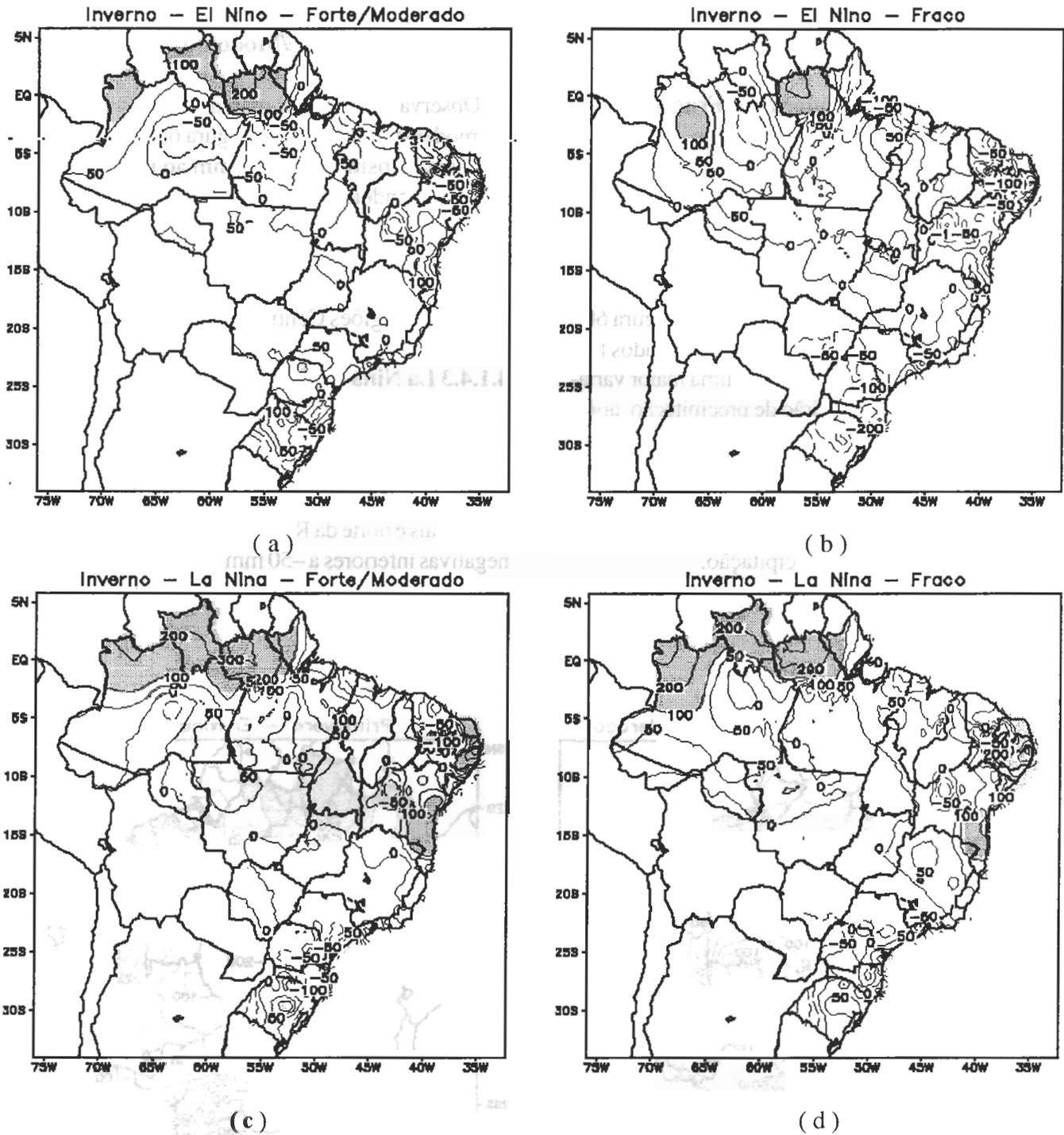
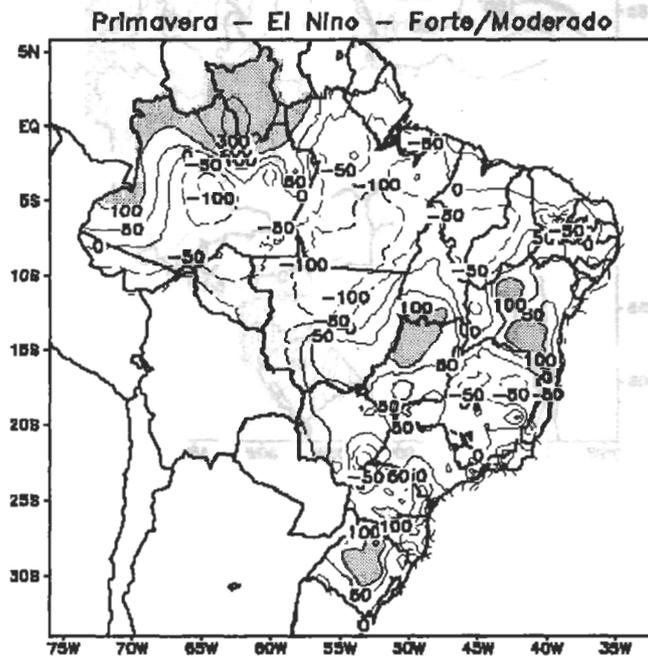


Figura 5- (a): Média das anomalias de precipitação acumulada no Inverno dos anos iniciais dos episódios El Niño classificados como fortes/moderados. (b): o mesmo que (a) para os episódios classificados como fracos. (c): Média das anomalias de precipitação acumulada no Inverno dos anos iniciais dos episódios La Niña classificados como fortes/moderados. (d): o mesmo que (c) para os episódios classificados como fracos. Os intervalos entre as isolinhas são os mesmos utilizados na Figura 3.

4.1.4 Primavera

4.1.4.1 El Niño Forte/Moderado e Fraco

Para os meses de Primavera, a distinção entre os padrões de precipitação de episódios fortes/moderados e fracos de El Niño é maior. A principal diferença refere-se às anomalias negativas, entre -100 e -200 mm, observadas no Brasil Central e sobre a Região Sudeste na ocorrência de episódios fracos (Figura 6b), enquanto que, durante os episódios considerados fortes/moderados, esta mesma área tem uma maior variabilidade com relação ao padrão de precipitação, apresentando áreas com anomalias positivas, negativas ou até mesmo próximas à normalidade com índices anômalos entre -100 e $+100$ mm (Figura 6a). As demais regiões do País não apresentam grandes alterações nos padrões de precipitação.



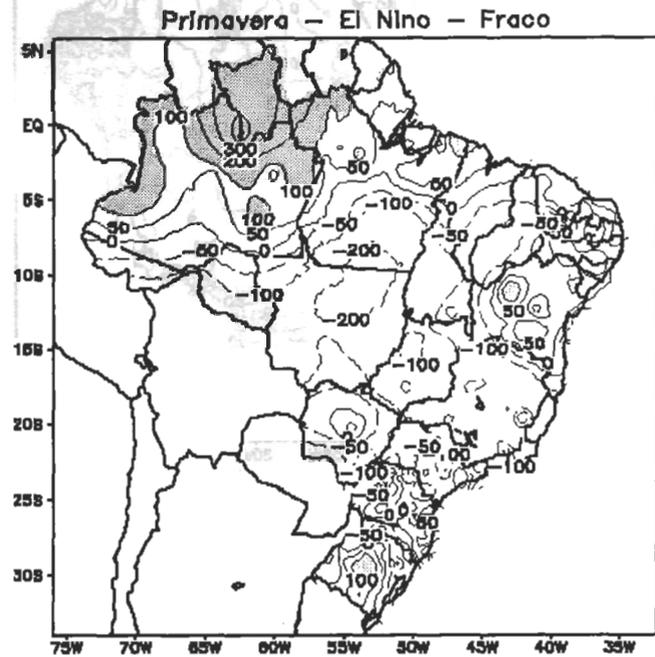
(a)

4.1.4.2 La Niña Forte/Moderada

Observa-se, nos anos marcados pelos eventos fortes/moderados de La Niña (Figura 6c), uma faixa com anomalias positivas de $+50$ mm ao norte da Região Norte, estendendo-se até ao norte do Maranhão, e outra região abrangendo quase todo o Estado da Bahia com anomalias entre $+50$ e $+100$ mm. Ainda nesta figura, anomalias negativas entre -50 e -200 mm são encontradas nas Regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil.

4.1.4.3 La Niña Fraca

Para os eventos fracos (Figura 6d), o norte da Região Norte e grande parte da Bahia apresentam anomalias positivas superiores a $+100$ mm, e o extremo sul do País e norte da Região Centro-Oeste, anomalias negativas inferiores a -50 mm.



(b)

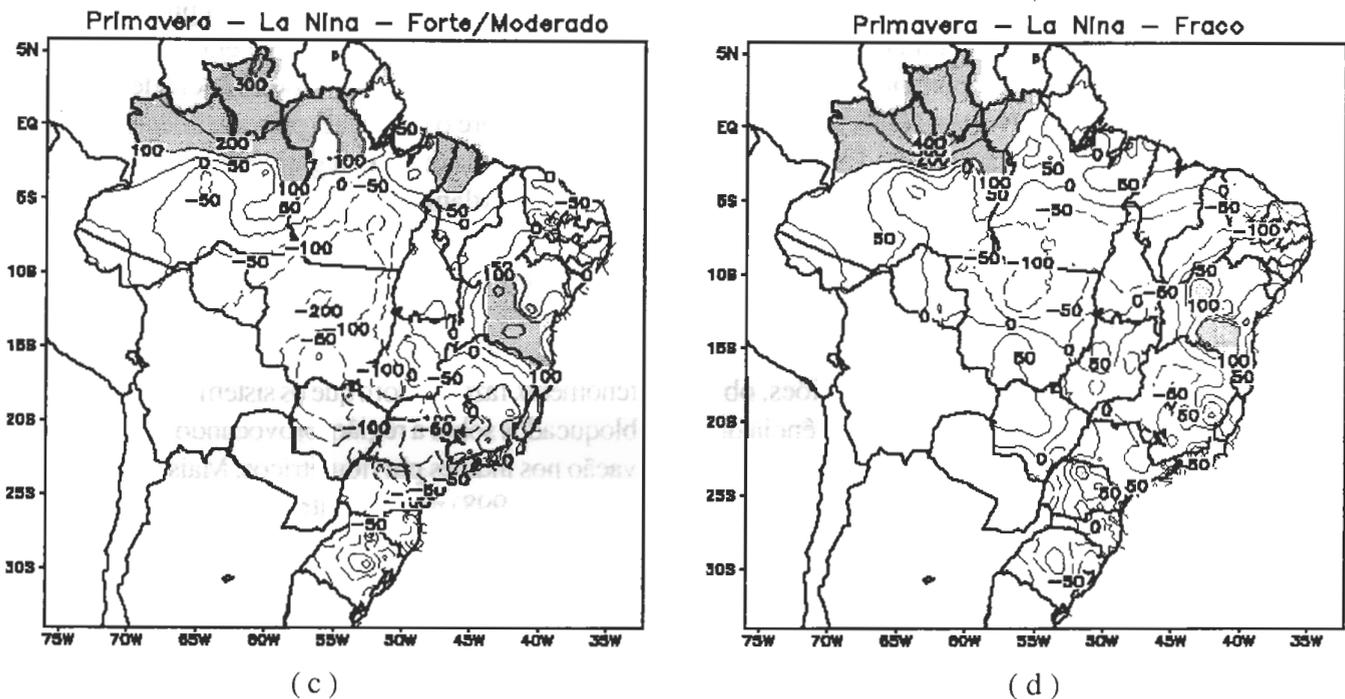


Figura 6 - (a): Média das anomalias de precipitação acumulada na Primavera dos anos iniciais dos episódios El Niño classificados como fortes/moderados. (b): o mesmo que (a) para os episódios classificados como fracos. (c): Média das anomalias de precipitação acumulada na Primavera dos anos iniciais dos episódios La Niña classificados como fortes/moderados. (d): o mesmo que (c) para os episódios classificados como fracos. Os intervalos entre as isolinhas são os mesmos utilizados na figura 3.

4.2 Anomalias sazonais de precipitação para o episódio El Niño 1997/98

Observa-se, através da Figura 7a, que, durante o Inverno do ano de 1997, uma longa extensão da costa litorânea do Brasil, desde o norte do Rio de Janeiro até o extremo leste do Pará, apresentou anomalias negativas marcantes com valores entre -100 e -200 mm. Da mesma forma, anomalias negativas com mesma magnitude também foram notadas no centro da Região Norte e extremo oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Anomalias positivas da ordem de $+100$ mm destacaram-se ao norte da Região Norte e superiores a $+300$ mm sobre a porção central e leste da Região Sul do Brasil.

A Primavera do ano de 1997 caracterizou-se por anomalias negativas inferiores a -100 mm de precipitação ao norte da Região Centro-Oeste e em todo o litoral nordestino (Figura 7b). Por outro lado, anomalias positivas em torno de $+100$ mm foram

observadas no centro da Região Centro-Oeste e extremo noroeste da Região Norte. No Estado de São Paulo, são observadas anomalias entre $+100$ e $+200$ mm e, na Região Sul, em geral, índices superiores a $+200$ mm.

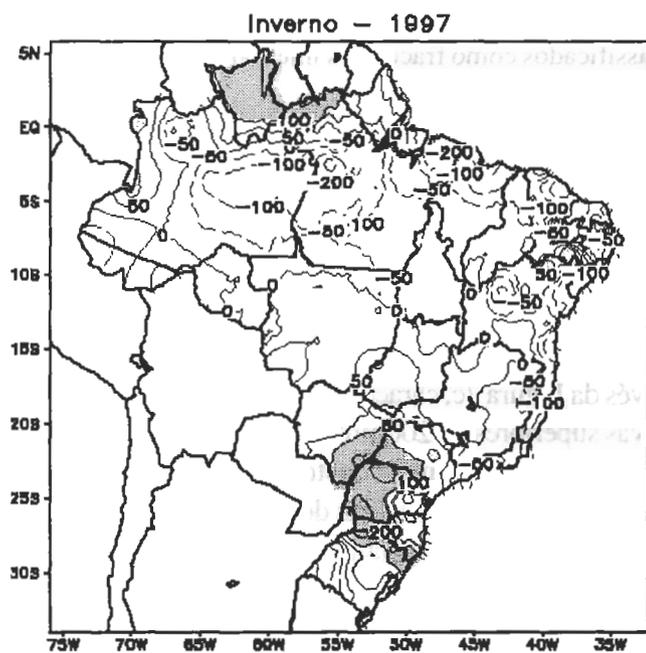
O Verão 1997/98, como pode ser visto através da Figura 7c, caracterizou-se por anomalias positivas superiores a $+200$ mm sobre a Região Sul, e inferiores a $+200$ mm no sudeste do Mato Grosso e oeste da Região Nordeste. Nas demais áreas do Brasil, foram registradas anomalias em geral inferiores a -100 mm, destacando-se os mínimos valores (-500 mm) no extremo norte do País.

De maneira semelhante ao observado durante a Primavera de 1997 (Figura 7b) e o Verão 1997/98 (Fig. 7c), anomalias positivas de precipitação superiores a $+200$ mm destacaram-se sobre a Região Sul do País durante os meses de Outono (Figura 7d). Ainda através da Figura 7d, notam-se anomalias positivas da ordem de $+100$ mm no centro-leste e oeste da Região Norte. O Brasil Central, leste e extremo norte do País apre-

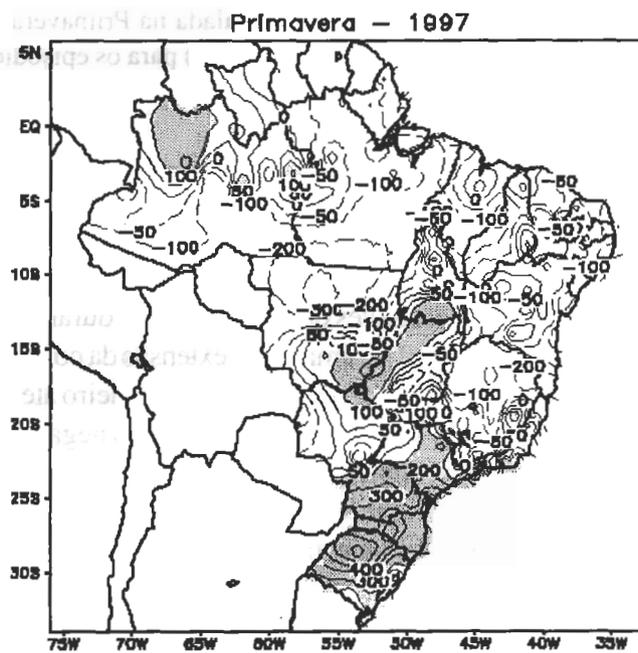
sentaram anomalias negativas inferiores a -100 mm.

Características típicas geralmente observadas durante as manifestações dos episódios de El Niño, tais como secas nos setores Norte e Nordeste do Brasil e excesso de precipitação no Sul do País, podem ser visualizadas na Figura 7. O deslocamento dos centros de sistemas convectivos do Pacífico Oeste para o Pacífico Central provoca consideráveis alterações nos padrões de circulação geral da atmosfera. Dentre estas alterações destaca-se a alteração da circulação meridional de Walker. Em geral, nestas ocasiões, observa-se o fortalecimento do braço de subsidência da célula de Walker sobre leste da Amazônia e Região Nordeste do Brasil (Souza et al. 1997). Assim, ao observarmos as Figuras 7b e 7d, há fortes indícios de que as anomalias negativas de precipitação observadas nas

Regiões Norte e Nordeste do Brasil provêm das alterações na célula de Walker. No entanto, observa-se no período DJF (Fig. 7c) a ocorrência de anomalias positivas sobre o Nordeste, provavelmente relacionada à ocorrência da fase negativa do padrão de Dipolo no Oceano Atlântico, assim como sugerido por Souza et al. (1997). Já as anomalias positivas de precipitação observadas ao Sul do País, assim como sugere Nobre et al. (1986), podem estar associadas ao fortalecimento do jato subtropical durante a manifestação do fenômeno, fazendo com que os sistemas frontais fiquem bloqueados sobre a região, provocando assim uma elevação nos índices pluviométricos. Mais recentemente, Inazawa (1998) mostrou, através de simulações de um modelo de mesoescala, que a interação entre o jato subtropical e sistemas frontais pode provocar precipi-



(a)



(b)

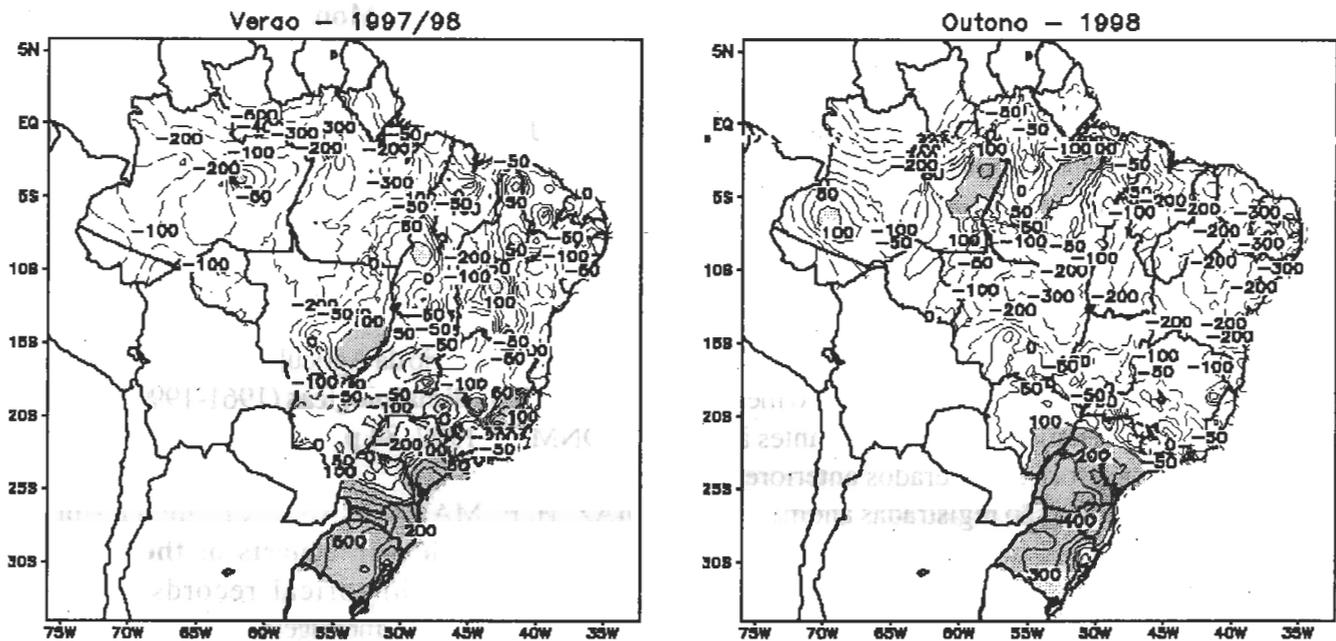


Figura 7 - (a): Anomalia de precipitação acumulada sobre o Brasil no Inverno de 1997. (b): o mesmo que (a) para a Primavera de 1997. (c): o mesmo que (a) para o Verão 1997-1998. (d): o mesmo que (a) para o Outono de 1998. Os intervalos entre as isolinhas são os mesmos utilizados na figura 3.

tação intensa na região de confluência de ambos.

5. CONCLUSÕES

Para os meses de Inverno, observa-se, para as quatro classificações propostas, uma certa similaridade nos padrões de precipitação em grande parte do Brasil. O centro do País apresenta anomalias pequenas, inferiores a +100 mm, enquanto que a costa da Região Nordeste, em ambas as classificações de La Niña aqui apresentadas, caracteriza-se por anomalias positivas da ordem de +100 mm ou superiores. Anomalias positivas superiores a +100 mm também são notadas no extremo norte do País. Por outro lado, anomalias negativas inferiores a -100 mm são observadas principalmente sobre a Região Sul durante os eventos fracos de El Niño.

Durante a Primavera, verifica-se que o extremo noroeste do País é marcado por anomalias com máximos índices superiores a +200 mm para as quatro classificações propostas. Em ambos os grupos de El Niño, há áreas com anomalias negativas inferiores a -

100 mm ao Norte do Mato Grosso e Sul do Pará e anomalias positivas com máximos em torno de +100 mm no Rio Grande do Sul. Entretanto, esta região, com predomínio de anomalias negativas, estende-se no caso dos eventos fracos de El Niño até a Região Sudeste. Nos eventos de La Niña, observam-se anomalias positivas (negativas) de precipitação no Sul da Bahia (no norte do Mato Grosso e extremo sul do País), em módulo inferiores a 200 mm, embora para os eventos fortes estas anomalias negativas atinjam maior extensão.

Para o Verão, o padrão de precipitação durante os eventos de El Niño caracterizado por anomalias positivas ao Sul do País e negativas ao Norte é observado principalmente nos eventos fortes, pois, nos fracos esse padrão se desintensifica, ocorrendo regiões com anomalias positivas no litoral paraense e nordestino e áreas com anomalias negativas no Rio Grande do Sul. Nos eventos de La Niña, o Brasil central caracteriza-se por anomalias negativas da ordem de -100 mm, enquanto que o centro da Região Norte, por anomalias positivas superiores a +100 mm. Entretanto, verifi-

ca-se sobre a Região Sudeste a inversão do padrão de precipitação de anomalias negativas para positivas dos eventos de La Niña fortes para os fracos.

Nos meses de Outono, observa-se certa similaridade entre os quatro campos, destacando-se, em geral, anomalias positivas superiores a +100 mm no litoral nordestino e Amapá e negativas inferiores a -100 mm no noroeste das Regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste.

Quanto ao padrão de precipitação encontrado no episódio El Niño 1997/98, observou-se que o mesmo apresentou características muito semelhantes às presentes nos eventos fortes/moderados anteriores. Dessa forma, geralmente são registradas anomalias positivas no Sul e negativas no Norte-Nordeste.

Em resumo, o presente estudo teve a finalidade de auxiliar a compreensão da distribuição espacial sazonal de precipitação em períodos de eventos extremos de OS. Acredita-se que os resultados apresentados aqui, embora genéricos, auxiliarão na validação de modelos climáticos e na compreensão das diferenças sazonais observadas. Um estudo mais profundo da dinâmica da circulação atmosférica de grande escala, responsável não apenas pela variação sazonal de precipitação, mas inclusive pela variabilidade das manifestações dos eventos ENOS, é necessário, proporcionando uma continuação natural deste trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo Operacional de Climatologia do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) pelo apoio técnico e atenção dispensada durante o desenvolvimento deste trabalho. Os autores ARMD e TA agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro de parte desta pesquisa. Da mesma forma, os autores CASC e TA agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro durante a realização deste trabalho.

O autores são gratos também aos revisores anônimos da RBMet, cujas sugestões foram importantes ao aprimoramento deste artigo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South America Sector Part I: Surface Climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, p.505-24, 1988.
- ALVES, J. M. B., et al. Episódios de La Niña na Bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a distribuição sazonal e intrasazonal das chuvas no setor norte do nordeste brasileiro. *Rev. Bras. Meteorol.*, v.12, n.1, p. 63-76, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Normais Climatológicas* (1961-1990). Brasília: DNMET, 1992. 84 p.
- DIAZ, H. F., MARKGRAF, V. *El Niño - historical and paleoclimatic aspects of the southern oscillation - historical records in ENSO reconstructions*. Cambridge: University Press, 1992. p.122-3.
- CLIMANÁLISE. *Boletim de Monitoramento e Análises Climáticas*. 124 p. (Número Especial). Cachoeira Paulista: INPE-CPTEC, 1986. 2 ed.
- DAVIS, J. C. *Statistics and data analysis in geology*, New York: John Wiley & Sons, 1986. p.384-405.
- FIGUEIREDO, J.C. E J. SCOLAR. Estudo da trajetória dos sistemas convectivos de mesoescala na América do Sul. In: CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 7, e CONGRESO LATINO AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 7, 1986. Buenos Aires, Argentina. p.165-6.
- GAN, M.A, RAO, V.B. Surface cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, v.119 p.1293-302, 1991.
- GRIMM, A.M. Impact of southern oscillation on rainfall over Southern Brazil. In: FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 5, 1997b, Local. v.11, p.230-1.
- GRIMM, A.M. Dynamical aspects of the Southern Brazil rainfall - El Niño relationship. In: FIFTH

- INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 5, 1997a. p.322-3.
- HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, 103, p.77-92, 1977.
- INAZAWA, E.E. Modelagem Numérica da interação entre correntes de jato subtropical e sistemas frontais em baixos níveis nas regiões sul e sudeste do Brasil. São Paulo, 1998. 71 p.** Dissertação (Mestrado...) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.
- KODAMA, Y.M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteorol. Soc. Jp.**, v.70, p.813-35, 1992.
- KODAMA, Y.M. Large-scale common features of sub-tropical precipitation zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J. Meteorol. Soc. Jp.**, v.71, p.581-610, 1993.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Mon. Wea. Rev.**, v.107, p.1142-53, 1979.
- KOUSKY, V.E., KAGANO M.T., CAVALCANTI I.F.A. A review of the southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36 A, p. 490-504, 1984.
- NOBRE C.A., OLIVEIRA A.S., NEVES. E.K., Precipitation and circulation anomalies in South America and the 1982-83 El Niño/southern oscillation episode. **In: IV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 4, 1986, Anais ... v.1, p.339-45.
- RAO, V.B., HADA E K. . Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with Southern Oscillation. **Theor. App.Clim.**, v.42, p.81-91, 1990.
- RASMUSSON, E.M., CARPENTER T.H., Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. **Mon.Wea.Rev.**, v.110, p.354-84, 1982.
- ROPELEWSKI, C.F., HALPERT E M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. **Mon.Wea.Rev.**, v.115, p. 1606-26, 1987.
- SCHWERDTFEGER, W. The atmospheric circulation over central and South America. **In: SCHWERDTFEGER, W., LANDSBERG, H.E. (Ed.). World survey of climatology**, Amsterdam: Elsevier, 1976. v.12, p.1-12.
- SILVA DIAS, M.A.F. Complexos convectivos de mesoescala sobre a região sul do Brasil. Climanálise, Cachoeira Paulista **Bol. Monit. Anál. Clim.**, Lista: INTE_CPTEC, 1996. v.(Numero Especial).
- SOUZA, E.B., ALVES, J.M.B., REPELLI, C.A. Uma revisão sobre a influência dos oceanos pacífico e atlântico na variabilidade pluviométrica do semi-árido nordestino. **Bol. Monit. Climát.**, 122, n.122, v.11, p.7-17, 1997.
- STOECKENIUS, T. Interannual variations of tropical precipitation patterns. **Mon.Wea.Rev.**, v.109, p.1233-47, 1981.
- UVO, C.B, Influence of sea surface temperature on rainfall and runoff in northeastern south america: analysis and modeling, Lund, 1998. 78 p. Tese (doutoramento). Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden.**
- VELASCO, I. FRITSCH J.M. . Mesoscale convective complexes in the Americas. **J. Geophys. Res.**, v.92, D8, p.9591-613, 1987.
- WALKER, G.T. Correlation in seasonal variation of weather. **Mem. Ind. Meteorol.Dept.**, v.24, p.275-332, 1924.