

# **Evolução do Impacto de Eventos Climáticos Extremos nos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a Estação Chuvosa no Nordeste do Brasil**

**Daisy Beserra Lucena<sup>1</sup>, Jacques Servain<sup>2</sup> e Manoel Francisco Gomes Filho<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Doutora em Meteorologia*

*<sup>2</sup>Institut de Recherche pour le Développement (IRD-UR182), Cientista Visitante na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)*

*<sup>3</sup>Prof. Dr. do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG*

## **INTRODUÇÃO**

A análise do comportamento das chuvas na Região Nordeste do Brasil (NEB) se reveste de enorme importância, devido à grande irregularidade apresentada em escala de tempo e espaço, não somente sob o enfoque climático, mas, também, pelas consequências de ordem econômica, social e cultural advindas. Diversos são os fatores que influenciam o comportamento da precipitação, um deles é a variabilidade climática sobre os Oceanos, principalmente o Pacífico e o Atlântico, e suas interações com a atmosfera.

No Pacífico, o modo de variabilidade dominante é o fenômeno ENOS, El Niño - Oscilação Sul, com uma componente oceânica e outra atmosférica. Na sua componente oceânica, caracteriza-se pelo aquecimento (resfriamento) das anomalias da TSM no Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste - El Niño (La Niña). A componente atmosférica do ENOS está acoplada dinamicamente ao Índice de Oscilação Sul (IOS), que é definido pela diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin). O IOS apresenta

valores negativos em anos de El Niño e positivos em anos de La Niña. Portanto, valores positivos significam resfriamento do Pacífico e os negativos, aquecimento.

Sobre o Oceano Atlântico tem-se o dipolo (MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991; SERVAIN *et al.*, 1999), atualmente devido a diversas controvérsias sobre sua existência e caracterização é mais conhecido como Gradiente Inter-hemisférico ou meridional da temperatura da superfície do mar (GRADM). O GRADM envolve variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) centradas na região dos alísios de nordeste e sudeste, em escalas de tempo sazonal, interanual e decadal (MOURA e SHUKLA, 1981; SERVAIN, 1991). É mais freqüente durante o período de fevereiro a maio, com máxima ocorrência em março (ANDREOLI, 2002). Caracteriza-se por anomalias da TSM de sinais opostos nas bacias norte e sul do AT, gerando um gradiente térmico norte-sul e inter-hemisférico (SERVAIN, 1991; SERVAIN *et al.*, 1999; HUANG e SHUKLA, 1997). Embora as anomalias da TSM referentes a esse modo usualmente apresentem sinais opostos em cada hemisfério, o desenvolvimento dessas anomalias nem sempre é simultâneo (ENFIELD e MAYER, 1997; HUANG e SHUKLA, 1997; SERVAIN, 1991).

Estudos anteriores como os de Hastenrath e Heller (1977), Markham e McLain (1977), Moura e Shukla (1981), Rao e Hada (1990), Pezzi e Cavalcanti (2001), Giannini *et al.* (2004), Andreoli *et al.* (2004), Andreoli e Kayano (2007), dentre vários outros, relatam os impactos climáticos dos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a precipitação sazonal no Nordeste do Brasil. Época de escassez de precipitação sobre o NEB está mais relacionada com ocorrência do fenômeno El Niño, e/ou com a ocorrência do GRADM positivo ao longo do Atlântico tropical (ou seja, anomalias de TSM mais ou menos positivas no norte da bacia e, anomalias mais ou menos negativa no sul bacia do Atlântico Tropical). No contrário, têm-se períodos chuvosos abundantes relacionados com o evento La Niña e/ou com o GRADM negativo (anomalias da TSM negativas ao norte e positivas ao sul).

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é contribuir para um melhor entendimento dos diferentes impactos dos Oceanos Índico/Pacífico e Atlântico Tropical sobre a precipitação sazonal no Nordeste do Brasil.

Esses impactos climáticos são examinados a partir dos principais episódios de eventos El Niño/La Niña, sobre o Pacífico, e o Gradiente Meridional da Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical (MGRAD), durante o período de 1948 a 1997. Análises diagnósticas são realizadas utilizando um conjunto de dados de precipitação observados, estimados e simulados. O estudo completo (LUCENA, 2008) é feito para três diferentes sub-regiões sobre o NEB, a nordeste, a leste e a centro/sul, em que se observam períodos chuvosos com pluviosidade sazonal diferenciada e essas ocorrem em períodos distintos no ano (em março para a sub-região norte, em maio para a leste e em dezembro para a centro/sul - Figura 1). Neste trabalho o foco principal de estudo será a sub-região norte do NEB.

O limite esquemático das três sub-regiões utilizadas no presente estudo pode ser visualizado na Figura 1. A época das chuvas ao longo da sub-região norte ocorre principalmente durante fevereiro a maio. A razão principal para a pluviosidade sazonal é o deslocamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, outros motivos são convecção locais, linhas de instabilidade, brisa e ondas de leste, dentro outros; Na sub-região leste sub-região o período mais chuvoso está compreendido entre os meses de abril a julho, e está relacionado também com da ZCIT, do mesmo modo com uma significativa influência de ondas leste, além da dinâmica associada ao vórtice ciclônico de altos níveis - VCAN; Por último, a sub-região centro/sul está sob influência de frentes frias provenientes do Atlântico Sul e também a Zona de Convergência do Atlântico Sul ou, da América do Sul - ZCAS, nesta sub-região a principal estação chuvosa ocorre no início da temporada, no período de novembro a fevereiro (UVO, 1989; NOBRE e SHUKLA, 1996; MOLION e BERNARDO, 2002).

## DADOS E METODOLOGIA

O conjunto de dados de precipitação utilizado neste estudo provém do *Climate Prediction Center - CPC*<sup>1</sup> (CHEN *et al.*, 2002), baseados nas observações de pluviômetros; do *Global Precipitation Climatology Project - GPCP*<sup>2</sup> (ADLER *et al.*, 2003), que é uma combinação entre dados captados por pluviômetros e dados estimados por medições de satélites; também dados provenientes do projeto denominado Reanálises do *National Centers for Environmental Predictions / National Centers for Atmospheric Research - NCEP/NCAR*<sup>3</sup> (KAYNAY *et al.*, 1996); bem como dados simulados pelo Modelo de Circulação Geral da Atmosfera ARPEGE - *Action de Recherche Petites et Grandes Echelles* (dados utilizados na tese do CASSOU, 2001).

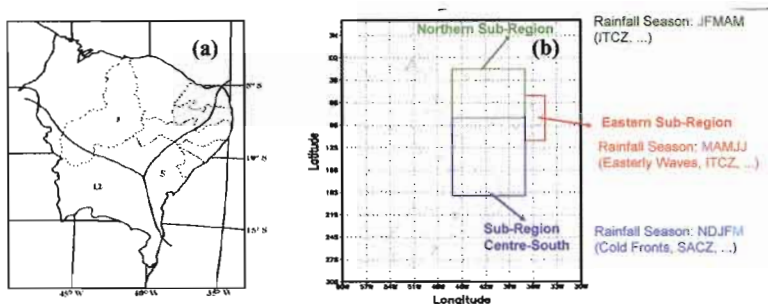
O modelo ARPEGE, desenvolvido conjuntamente por Météo-France e o Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF), consiste em dois tipos de simulações: o primeiro conjunto, o experimento de referência, chamado de GOGA (*Global Ocean - Global Atmosphere*) a atmosfera é forçada pela Temperatura da Superfície do Mar (TSM) observada em todos os Oceanos globais durante 1948-1997 (é uma média do conjunto de 8 simulações); já o segundo conjunto, experimento teste, AOGA (*Atlantic Ocean - Global Atmosphere*), a atmosfera é forçada, para o mesmo período, somente pelo Oceano Atlântico, sendo utilizada a climatologia nos demais oceanos (Índico e Pacífico), como pode ser visualizado na Figura 2, neste foi usada uma média do conjunto de 4 simulações. Características gerais do modelo são descritas em Dequé *et al.* (1994).

---

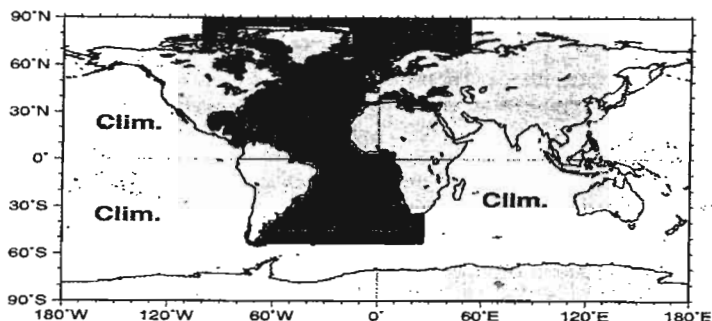
1 Esses dados são disponibilizados pelo CPC da NOAA, obtidos através do sitio <<http://iridl.ldeo.columbia.edu/>>

2 dados provenientes do sitio <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.gpcp.html>>

3 obtidos no endereço <<http://www.cdc.noaa.gov/>>



**Figura 1** – (a) Regime de precipitação sobre o Nordeste do Brasil com seus principais meses chuvosos: (12) Dezembro, (3) Março e (5) Maio. Fonte: Adaptada de Marques et al. (1983). (b) Subdivisões da região NEB: sub-região 1 (norte do NEB); sub-região 2 (leste do NEB); e sub-região 3 (centro-sul do NEB).



**Figura 2** – A região em negrito mostra a área do Oceano Atlântico utilizada como forçante no experimento AOGA. Nos demais oceanos, como mostrado, é utilizada a climatologia de TSM. Fonte: Cassou (2001), Cassou e Terray (2001)

Os anos com ocorrência do evento El Niño e La Niña foram selecionados tendo como base a relação do CPC/NOAA<sup>4</sup> e se baseiam num limiar de +/- 0.5°C para o Índice Niño (média

<sup>4</sup> disponível no sítio <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)>

móvel de 3 meses das anomalias do ERSST.v2 SST na região do Niño 3.4) para o período de 1971-2007. A Tabela 1(a) mostra os 14 anos de EN e os 13 anos de eventos LN. A classificação dos episódios nas categorias fraco, moderado e forte foi realizada também com base nas informações contidas no sitio<sup>5</sup> do CPC/NOAA. Os episódios quentes baseiam-se no trabalho de Rasmusson e Carpenter (1982), enquanto a fonte dos episódios frios é Ropelewski e Halpert (1989).

Por outro lado, os anos correspondentes aos anos com GRADM positivo ou negativo foram escolhidos com base no cálculo do índice proposto por Servain (1991) que consiste na diferença entre as médias da TSM na área delimitada na bacia norte do Atlântico por 60°W-20°W, 5°N-28°N, menos a área na bacia sul 35°W-5°E, 20°S-5°N. Os dados para realização desse cálculo foram os dados do GISST (dados de entrada do ARPEGE). Foram considerados anos de ocorrência do GRADM positivo aqueles anos em que o índice apresentou valor acima de 0,5°C e negativo os valores abaixo, durante pelo menos dois meses consecutivos entre os meses de janeiro a junho. Na Tabela 1(b) apresentou-se a relação dos anos correspondentes à seleção dos 10 episódios com GRADM positivo e 09 com GRADM negativo sobre o Oceano Atlântico.

---

5 Disponível em <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears\\_1877-present.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears_1877-present.shtml)>

**Tabela 1** – (a) Anos de El Niño e La Niña com sua devida classificação e (b) Anos com GRADM positivo e GRADM negativo \*  
 Fonte da tabela (a): CPC/NOAA (2006)

(b)

EL NIÑO		LA NIÑA	
Anos	Classificação	Anos	Classificação
1957/1958	Forte	1949/1950	Forte
1963/1964	Fraco	1950/1951	Forte
1965/1966	Moderado	1954/1955	Forte
1968/1969	Moderado	1955/1956	Forte
1969/1970	Moderado	1964/1965	Moderado
1972/1973	Forte	1970/1971	Moderado
1976/1977	Fraco	1971/1972	Moderado
1977/1978	Fraco	1973/1974	Forte
1982/1983	Forte	1974/1975	Forte
1986/1987	Moderado	1975/1976	Forte
1987/1988	Moderado	1984/1985	Fraco
1990/1991	Forte	1988/1989	Forte
1991/1992	Forte	1995/1996	Fraco
1994/1995	Moderado		

GRADM POSITIVO	GRADM NEGATIVO
Anos	Anos
1951 ***	1971 ***
1956 ***	1973 **
1958 **	1974 ***
1966 **	1975 ***
1970 **	1984
1978 **	1985 ***
1980	1986
1981	1989 ***
1983 **	1994
1997	

\* Classificação de eventos com base no índice GRADM (SERVAIN, 1991), em que valores acima (abaixo) de 0,5°C durante pelo menos dois meses consecutivos entre os meses de janeiro a junho referem-se à GRADM positivo (GRADM negativo)

\*\* referem-se aos anos em que ocorreram coincidentes com eventos El Niño

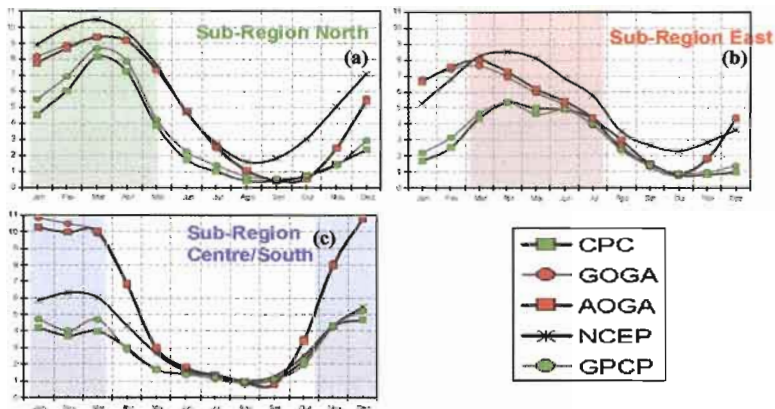
\*\*\* referem-se aos anos em que ocorreram coincidentes com eventos La Niña

## **RESULTADOS**

O ciclo médio sazonal da precipitação (em mm/dia) para cada uma das três sub-regiões analisadas é representado na Figura 3. Os dados de precipitação apresentados são provenientes do CPC (quadrados verdes), do GPCP (círculos verdes), do NCEP (asteriscos) e das simulações GOGA e AOGA (respectivamente, círculos e quadrados em vermelho). Note que os, principais, períodos sazonais de chuvas para cada uma das três sub-regiões estão destacados. Pode-se observar que GOGA e AOGA são muito similares, e isto é normal, já que se trabalhou com médias de longo prazo, dessa forma, a média de 1948-1997 para AOGA deve ser muito próxima da média de GOGA para os mesmos 50 anos. Os dados de precipitação para o CPC e GPCP também se apresentaram muito próximas, os dados do NCEP é que foi um pouco diferentes das duas observações e simulações. O que se pode realmente notar é que o ARPEGE estimou chuvas em excesso para a sub-região centro/sul, mesmo que o período das chuvas sazonais foi bem representado. Sobre a sub-região leste o ARPEGE continuou também sobreestimando a precipitação, porém nesta sub-região com um atraso de um mês para o máximo de precipitação. Na sub-região norte pode ser observado que o modelo representou muito bem o período chuvoso (sinais são observados e simulados em fase) e, apesar de ter estimado precipitação em excesso essa foi reduzida (de 0 a 3 mm/dia) em comparação as demais sub-regiões.

Durante o período estudado, 1948-1997, muitos eventos EN e LN foram registrados (conforme Tabela 1), porém pode se observar através da Figura 4 um número um pouco maior de EN durante a segunda metade do período (o que, normalmente, significa um efeito negativo sobre a precipitação sobre o NEB). Durante o mesmo período de maior ocorrência de EN (segundo período), na realidade, a partir do início da década de 1970, o número de GRADM negativo sobre o Atlântico Tropical também foram mais numerosos (que, normalmente, induz um impacto positivo sobre as chuvas no NEB, destaca-se, então, o





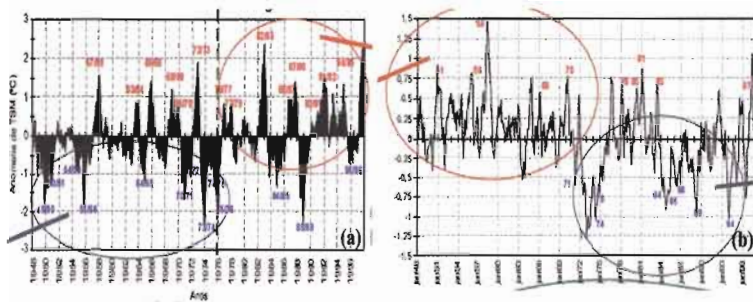
**Figura 3** – Ciclo anual da precipitação média em mm/dia para as três sub-regiões do NEB com os resultados das simulações GOGA e AOGA do modelo ARPEGE, dados de reanálises do NCEP, dados observados do CPC e GPCP. (a) sub-região 1 - norte; (b) sub-região 2 - leste e (c) sub-região 3 – centro/sul.

impacto inverso do Atlântico e do Pacífico). Antes da década de 1970 no Pacífico (mais La Niña) e Atlântico (maior número de GRADM positivo) também se verifica impactos climáticos controversos, isso no sentido de historicamente provocarem impactos contrários, se eles atuassem isoladamente.

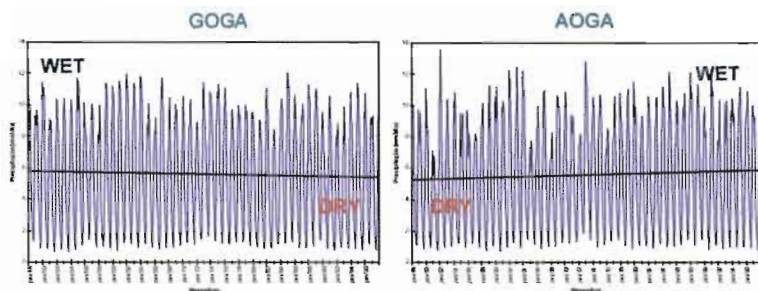
As simulações GOGA e AOGA e simulações são coerentes o relatado acima. Verifica-se através da Figura 5, séries mensais das precipitações simuladas para toda a região Nordeste durante o período do estudo. Para GOGA nota-se uma ligeira tendência linear à seca (possivelmente mais ligados aos eventos EN observados durante a segunda metade do período). A partir da simulação AOGA, verifica-se, sem o efeito do EN ou LN (devido à configuração do experimento), uma pequena tendência linear de aumento das chuvas (provavelmente, também, associada ao número maior de MGRAD negativo na segunda metade do período de estudo).

Esse sinal na série temporal é, obviamente, acentuado quando se calcula a diferença entre os dois conjuntos de

simulações. A Figura 6 mostra essa diferença para as três sub-regiões (Norte, Leste e Centro/Sul), usando apenas, para cada caso, a principal estação chuvosa (FMAM para a sub-região Norte, AMJJ para a sub-região Leste, e para NDJF sub-região Centro/Sul). Verifica-se que a amplitude da diferença é maior para a sub-região Norte durante todo o período, o que pode indicar que está sub-região é particularmente sensível para o Atlântico versus o experimento referência executado. Parece que não foi exatamente o caso das outras duas sub-regiões: a leste, a diferença é menor durante o período do primeiro semestre, e maior durante o segundo semestre período; para a Centro/Sul, isto é exatamente o inverso, a diferença é maior durante o primeiro semestre período, e um pouco menor durante o segundo semestre período.



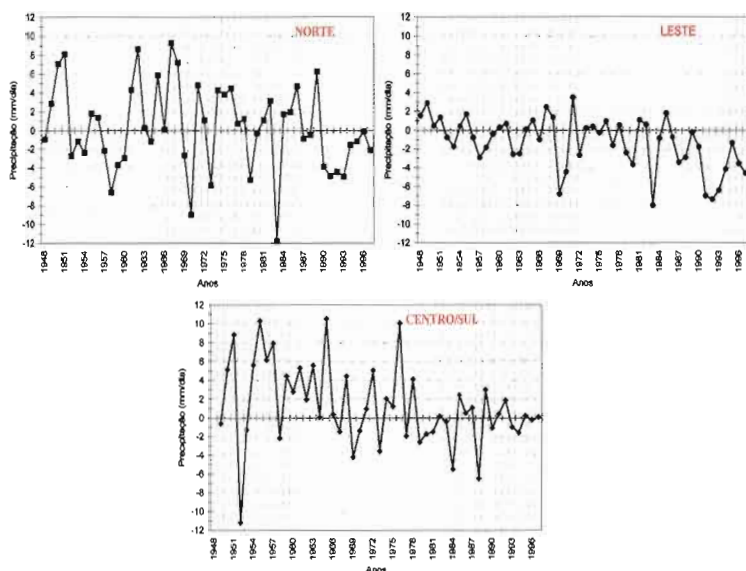
**Figura 4** – (a) Anomalias da TSM mensais sobre a região do Niño 3.4 ( $170^{\circ}\text{W}/120^{\circ}\text{W}$   $-5^{\circ}\text{S}/5^{\circ}\text{N}$ ) a partir de dados GISST para o período de 1948-1997. (b) Série temporal do índice do GRADM (calculado conforme descrito na seção dados). A linha vertical tracejada em verde divide a série em dois períodos distintos, antes e depois de 1976. Os anos em vermelho correspondem aos 14 anos de El Niño em (a) e anos com GRADM positivo em (b) e os em azul aos 13 anos de La Niña em (a) e com GRADM negativo em (b). As formas elípticas em azul chamam a atenção aos eventos que na literatura estão relacionadas a períodos úmidos (precipitação acima ou em torno da média) e em vermelho associadas com períodos secos (precipitação abaixo da média climatológica).



**Figura 5** – Série temporal mensal da precipitação (mm/dia) sobre todo o NEB com os dados do modelo ARPEGE para o período 1948-1997 para (a) simulação GOGA (referência) (b) simulação AOGA (teste).

A análise de diagnóstico realiza-se para os quatro tipos de eventos (EN, LN, GRADM positivo e negativo), usando em cada etapa cada uma das três diferentes sub-regiões (Norte, Leste e Centro/Sul). Neste trabalho mostram-se apenas os resultados para os quatro tipos de eventos, mas somente para a sub-região Norte. Iniciar-se-á com o evento EN. A Figura 7a mostra o índice Niño 3,4 (média para períodos de 3 meses, SON, DJF, MAM e JJA) para cada evento selecionado, observa-se que todos os eventos, como já é sabido, não se desenvolve, exatamente, da mesma maneira e alguns dos eventos EN transformam-se rapidamente em LN (por exemplo, os eventos de 63-64, 69-70, 87-88). O que acontece para o GRADM durante estes 14 anos de EN, analisa-se na Figura 7b. Verifica-se que as ocorrências do GRADM não são claras, ou seja, não segue um padrão. Na maioria das vezes esse gradiente é fraco. Apenas duas ou três vezes esse gradiente apresenta-se bem definido como, por exemplo, em 57-58 (fortemente positivo) e em 72-73 (fortemente negativo).

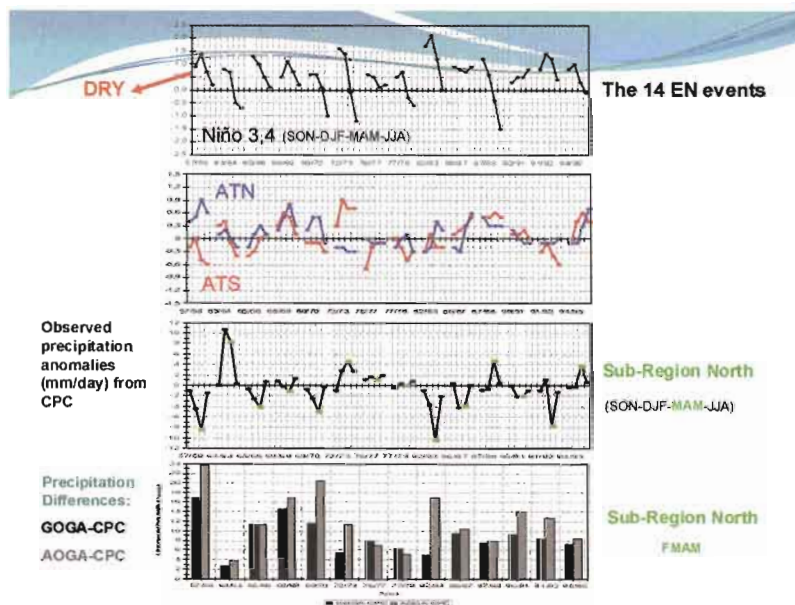
Com relação a pluviosidade sazonal na sub-região Norte para os meses de março a maio, durante estes anos de EN, pode ser visualizado na Figura 7c. A anomalia da precipitação observada do CPC (em mm/dia), mostra que na maior parte dos anos apresenta-se ocorrência de secas (consistente com o EN) ou precipitações próximas a normal climatológica.



**Figura 6** – Diferença da precipitação entre as duas simulações (GOGA-AOGA) do modelo ARPEGE para o período chuvoso de cada sub-região para a sub-região Norte (FMAM); sub-região Leste (AMJJ) e sub-região Centro/Sul (NDJF).

Os episódios são secos quando temos simultaneamente o GRADM positivo (como por exemplo, em 57-58) e, quando o EN está, particularmente, forte e com uma longa duração (como por exemplo, em 82-83). Inversamente, podem ser registrados alguns episódios com precipitações acima da média (anomalias positivas), quando o EN transforma-se em LN, ou seja, perde força ligeiramente (como por exemplo, em 63-64 e 87-88). Em termos de resposta do modelo (Figura 7d), a diferença de precipitação entre GOGA e observação (barras pretas) e entre AOGA e observações (barras cinzas). Tanto GOGA, quanto AOGA sobrestimam a precipitação. O erro da simulação AOGA sempre é superior a GOGA e, obviamente, tais erros são mais significativo para episódios secos (ex.: 57-58, 69-70, 82-83).

Chama a atenção que a melhor simulação ocorre no episódio mais úmido, 63-64 (as condições dos Oceanos são MGRAD neutro e EN fraco).



**Figura 7** – Anomalia sazonal da (a) TSM sobre a região do Niño 3.4, para 14 anos de EN; (b) TSM sobre o ATS (linha vermelha) e o ATN (linha azul), para cada trimestre; (c) precipitação para a sub-região Norte com os dados observados do CPC/NOAA para os anos de EN. Os trimestre são respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano; e (d) Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de EN para a sub-região Norte.

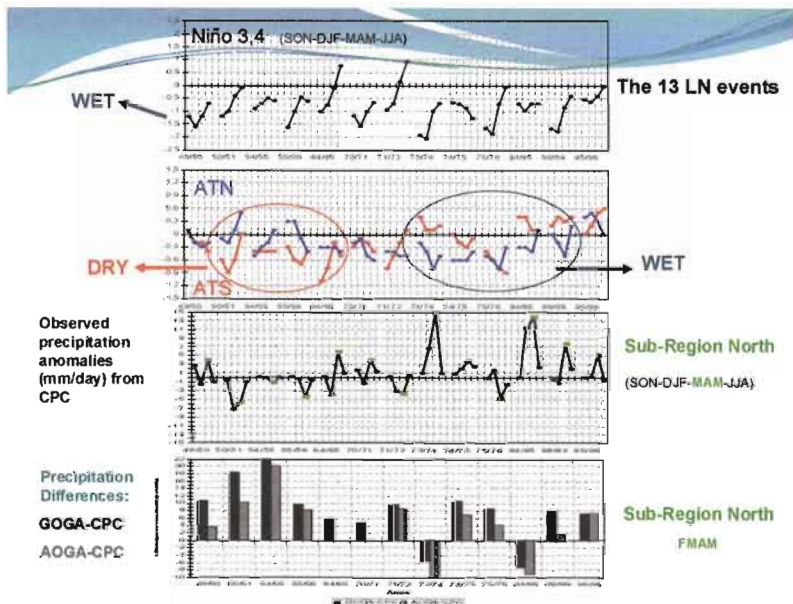
A mesma análise é realizada para os 13 eventos LN. Pode-se constatar na Figura 8a que os episódios de LN são mais estáveis no tempo, apenas dois episódios passam por anomalias positivas (64-65 e 71-72). Sobre o Atlântico (Figura 8b), o comportamento do GRADM é também bem diferente em comparação com os anos de eventos EN. O sinal do GRADM apresenta-se na maior

parte do tempo bem definido, porém com uma inversão entre a primeira (GRADM positivo associado, geralmente, a escassez de chuvas) e a segunda (GRADM negativo – aumento da precipitação) metade do período.

A resposta da precipitação nestes anos de LN não é, portanto, surpreendente. A precipitação apresenta períodos oscilando entre secos e normais durante a primeira metade do período de estudo, e precipitações acima da média, em média, durante a segunda parte do período. A simulação do modelo, também se apresentou um pouco diferente da resposta durante os episódios de EN. Os erros são menores, especialmente, durante a segunda metade do período de estudo, quando Pacífico e Atlântico “trabalham” em conjunto no sentido de induzir uma maior precipitação. Nota-se, ainda que em dois episódios, 73-74 e 84-85, onde os erros são negativos, o modelo simulou precipitações abaixo da observada, estando, portanto, mais seco.

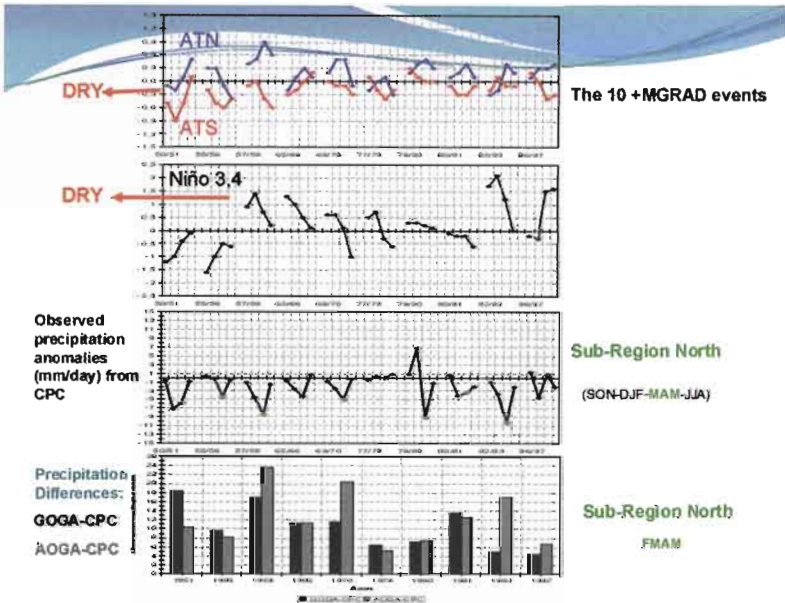
Para os 10 anos com GRADM positivo (relacionado, normalmente, com seca no Nordeste), observa-se na Figura 9a sobre o Pacífico na maioria dos anos o evento EN configurado, a exceção ocorre basicamente nos dois primeiros anos, em 50-51 e 55-56) e o Pacífico apresenta-se neutro em 80-81. Assim, durante estes 10 anos de GRADM positivo, também não é surpreendente constatar que a época das chuvas foi, praticamente, seca. O erro foi sempre positivo, para ambos os tipos de simulação, podendo se observar que os erros menores ocorreram durante a segunda metade do período de estudo.

A análise para o último tipo de evento o GRADM negativo pode ser visualizado na Figura 10. Foram selecionados 9 eventos deste tipo, todos após a década de 1970. A maioria dos eventos é bem significativa apresentando, uma forte e positiva anomalia da TSM ao sul trópicos, e uma forte anomalia negativa ao norte. Observa-se que, durante estes eventos, o fenômeno LN prevaleceu com exceção no ano de 72-73 em que tem-se o EN e em 93-94 o mesmo porém, com menor intensidade.



**Figura 8** – Anomalia sazonal da (a) TSM sobre a região do Niño 3.4, para 13 anos de LN; (b) TSM sobre o ATS (linha vermelha) e o ATN (linha azul), para cada trimestre; (c) precipitação para a sub-região Norte com os dados observados do CPC/NOAA para os anos de LN. Os trimestre são respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano; e (d) Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos de LN para a sub-região Norte.

A precipitação neste caso mostra-se (Figura 10c) praticamente, uma resposta positiva, ou seja, precipitações acima da média, principalmente no período mais chuvoso para a sub-região em estudo (Norte). Chuvas, provavelmente, associadas ao fator GRADM negativo. Bastante notável é o baixo erro relacionado às simulações do modelo.



**Figura 9** – Anomalia sazonal da (a) TSM sobre o ATS (linha vermelha) e o ATN (linha azul), para cada trimestre; (b) TSM sobre a região do Niño 3.4, para 10 anos com GRADM positivo; (c) precipitação para a sub-região Norte com os dados observados do CPC/NOAA para os anos com GRADM positivo. Os trimestre são respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano; e (d) Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos com GRADM positivo para a sub-região Norte.

## CONCLUSÕES

A seguir serão expostas algumas conclusões e considerações finais com relação ao impacto de eventos climáticos El Niño, La Niña e Gradiente meridional da TSM positivo e negativo sobre a estação chuvosa da sub-região Norte no Nordeste do Brasil.

✓ Para os eventos EN, o sinal do GRADM apresenta-se na maioria dos casos neutro, resultando em períodos secos (no geral). Conseqüentemente tem-se, em linhas gerais, o impacto apenas do EN;



✓ Nos eventos LN, o sinal do GRADM mostra-se com dois padrões diferentes: observa-se GRADM positivo durante a primeira parte do período em estudo associado com uma resposta de seca, porém fraca (efeito inverso); e durante o segundo período o GRADM negativo predominou com uma forte resposta, excesso de precipitações (efeito acumulativo);

✓ A resposta da precipitação, na sub-região Norte, nos anos de GRADM positivo foram associadas a fortes secas, ou seja, aparentemente o efeito foi acumulativo, já que sobre o Pacífico observou-se maior número de eventos EN;

✓ Durante os eventos com GRADM negativo, observa-se maiores números de LN sobre o Pacífico resultando em um aumento das chuvas sobre a sub-região. Apresentando também um efeito acumulativo;

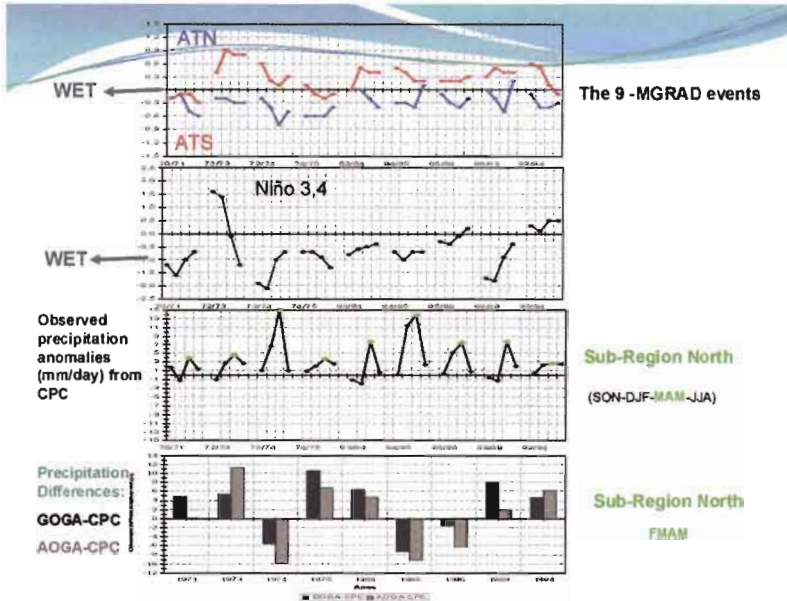
✓ Dessa forma, tem-se que a resposta da precipitação para a sub-região Norte, aparentemente é mais sensível ao GRADM, ou seja, tende a produzir uma resposta mais coerente, que aos eventos sobre o Pacífico (EN ou LN);

✓ Com relação às simulações, observa-se que GOGA reproduziu o impacto das chuvas em coerência com o aumento do número de eventos EN durante a segunda metade do período em estudo;

✓ AOGA consegue reproduzir o impacto das chuvas relacionadas ao número crescente de eventos GRADM negativos durante a segunda metade do período de estudo;

✓ Geralmente as simulações da precipitação do modelo ARPEGE estimam em excesso as chuvas sazonais ao longo do Nordeste (especialmente na sub-região Centro/Sul);

✓ Em termos de variabilidade interanual, o experimento teste, AOGA (versus GOGA) permite identificar o impacto do Atlântico (versus o impacto do Pacífico), em resposta a anomalias de precipitação sobre o NEB (especialmente para as regiões Norte e Leste do NEB); e



**Figura 10** – Anomalia sazonal da (a) TSM sobre o ATS (linha vermelha) e o ATN (linha azul), para cada trimestre; (b) TSM sobre a região do Niño 3.4, para 10 anos com GRADM negativo; (c) precipitação para a sub-região Norte com os dados observados do CPC/NOAA para os anos com GRADM negativo. Os trimestre são respectivamente, SON, DJF, MAM e JJA para cada ano; e (d) Diferença da precipitação (FMAM) entre as simulações e os dados observados do CPC (GOGA-CPC e AOGA-CPC) nos anos com GRADM negativo para a sub-região Norte.

✓ AOGA versus GOGA apresenta uma boa concordância com dois importantes resultados provenientes da análise diagnóstica, ou seja:

1. a resposta coerente da precipitação coerente ao longo do Nordeste é mais significativa quando o GRADM apresenta-se bem configurado (durante essa ocorrência, o sinal do Pacífico também, geralmente é bem claro, positivo ou negativo, resultando em um efeito cumulativo);
2. a resposta da precipitação é menos significativa quando o EN/LN aparece claramente.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos na época do doutorado e ao Dr. Christophe Cassou (CNRS-CERFACS) pela concessão dos dados da simulação do modelo ARPEGE.

Esse trabalho faz parte do Projeto de cooperação científico franco-brasileiro IRD-CNPq CATIN “*Climat de l’Atlantique Tropical et Impacts sur le Nordeste*” (Processo CNPq 492690/2004-9), como também do Projeto Institucional da UFCG CAMISA “Clima do Nordeste e do Atlântico Tropical e o Monitoramento dos Impactos no Semi-Árido”.

Esse trabalho foi extraído da Tese de Doutorado de Daisy Beserra Lucena na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), que teve como orientadores os professores Doutores Manoel F. Gomes Filho e Jacques Servain.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Adler, R.F.; Huffman, G.J; Chang, A.; Ferraro, R.; Xie, P.-P; Janowiak, J.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Curtis, S.; Bolvin, D.; Gruber, A.; Susskind, J.; Arkin, P.; Nelkin, E. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *Journal of Hydrometeorology*, 4(6), 1147-1167, 2003.
- Andreoli, R.V. Variabilidade e Previsibilidade da Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical. 224 p. (INPE-9557-TDI/833). Tese (Doutorado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- Andreoli, R.V.; Kayano, M.T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade da precipitação do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 22 (1), 63-74, 2007.
- Andreoli, R.V.; Kayano, M.T.; Guedes, R.L.; Oyama, M.D.; Alves, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos

- oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19 (3), p. 337-344, 2004.
- Cassou, C. Rôle de l'Océan dans la Variabilité Basse Fréquence de l'Atmosphère sur la Région Nord Atlantique – Europe. Thèse de doctorat. Toulouse: France. 280 p. 2001.
- Cassou, C.; Terray, L. Ocean forcing of the wintertime low frequency atmospheric variability in the North Atlantic European sector: a study with the ARPEGE model, *Journal of Climate*, 14 (22): 4266 – 4291, 2001.
- Chen, M.; Xie, P.; Janowiak, J. E.; Arkin, P. A. Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations, *Journal of Hydrometeorology*, 3, 249-266, 2002.
- Déqué, M.; Dreveton, C.; Braun, A.; Cariolle, D. The climate version of the ARPEGE/IFS: a contribution to the French community climate modelling, *Climate Dynamics*, 10: 249-266, 1994.
- Enfield, D.B.; Mayer, D.A. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, 102, 929-945, 1997.
- Giannini, A.; Saravanan, R.; Chang, P. The predictioning role of Tropical Atlantic variability in the development of the ENSO teleconnection: implications for the prediction of Nordeste rainfall. *Climate Dynamics*, 22(8), 839-855, 2004.
- Hastenrath, S.; Heller, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 102, 77-92, 1977.
- Huang, B.; Shukla, J. Characteristics of the interannual and decadal variability in a general circulation model of the tropical Atlantic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 27, 1693-1712, 1997.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu,

- Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, 77(3), 437-471, 1996.
- Lucena, D. B. Impacto dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima do Nordeste do Brasil. 225 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2008.
- Markham, C.G.; Maclain, P.R. Sea surface temperature related to rain in Ceará, Northeast Brazil. *Nature*, 265 (5592), 320-322, 1977.
- Marques, V. S.; Rao, V. B; Molion, L. C. B. Interannual and seasonal variation in the structure and energetics of the atmosphere over Northeast Brazil. *Tellus*, v. 35A, n. 2, p. 136-148, Mar. 1983.
- Moura, A.D.; Shukla, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory e numerical experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 2653 – 2675, 1981.
- Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira Meteorologia*, 17(1)1-10, 2002.
- Nobre, P.; Shukla, J. Variation of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, 9, 2464-2479, 1996.
- Pezzi, L.P.; Cavalcanti, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: A numerical study. *Climate Dynamics*, 17, 205-212, 2001.
- Rasmusson, E.M.; Carpenter, T.H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, 110, 354-384, 1982.

- Rao, V.B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(1), 81-91, 1990.
- Ropelewski, C. H.; Halpert, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 2 (3), 268-284, 1989.
- Servain, J. Simple climatic indices for the tropical Atlantic Ocean and some applications. *Journal of Geophysical Research*, 96, 15.137 - 15.146, 1991.
- Servain, J.; Wainer, I.; McCreary Jr., J.P.; Dessier, A. Relationship between the equatorial and meridional modes of climatic variability in the tropical Atlantic. *Geophysical Research letters*, 26(4), 485-488, February 15, 1999.
- Uvo, C. A zona de convergência e sua relação com a precipitação no Nordeste Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, São José dos Campos. 120 p. (INPE-4887-TDL/378), 1989.