



Eventos extremos de precipitação de maio de 2006 sobre Alagoas: uma análise de suas causas e seus impactos

Anderlan Henrique Batista SIQUEIRA¹, Nayara Arroxelas dos SANTOS²
Cristiano da Silva CARDOSO³, Wially Roger Tavares SANTOS²
& Luiz Carlos Baldicero MOLION⁴

¹Universidade Federal de Alagoas, Mestrando do Instituto de Ciências Atmosférica, anderlansiqueira@gmail.com.

²Universidade Federal de Alagoas, Graduanda (o) do Instituto de Ciências Atmosférica, nayara.arroxelas@yahoo.com.br,
wiallyroger@gmail.com.

³Universidade Federal de Pelotas, Mestrando da Faculdade de Meteorologia, cristianoufal@hotmail.com.

⁴Universidade Federal de Alagoas, Prof. Dr. do Instituto de Ciências Atmosférica, lcmolion@gmail.com.

Resumo

Nos dias 01 e 16 de maio de 2006 as estações localizadas nos Estados da costa leste no Nordeste Brasileiro apresentaram totais de precipitação acumulada acima da normal climatológica. No Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, Alagoas, em grande parte do Ceará e no setor oeste dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco os eventos dessa natureza causam perda de vida humana e grandes prejuízos socioeconômicos. Neste estudo, tais eventos foram analisados utilizando, dados de Reanálise do NCEP/NCAR, da Secretária Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH/AL), imagens do satélite GOES-8 e GOES+Meteosat (CPTEC/INPE) e dados de precipitações convencionais (Proclima). O tempo severo e as enchentes decorreram de dois fatores, são eles: as perturbações no campo dos ventos alísios que se associou com a penetração de um Sistema Frontal e o segundo, aos eventos que ocorreram com o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Tais sistemas foram intensificados pela convecção local, que contribui para um maior desenvolvimento vertical das nuvens de chuva, e pelo fornecimento de calor latente, devido as temperaturas de superfície do mar (TSM) próximo a costa do NEB estarem acima do normal, o que contribui para que os totais pluviométricos se apresentassem acima da normal climática para as regiões.

Palavras-chaves: POA, Precipitação, Costa Leste do Nordeste do Brasil, Sistemas Frontais.

Abstract

On days 01 and 16 May 2006 the stations located on the east coast states in Northeast Brazil showed total accumulated precipitation above the climatological normal. In Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, Alagoas, largely of Ceará and the western sector of the states of Rio Grande do Norte, Paraíba and Pernambuco such events cause loss of human life and major socioeconomics damage. In this study, such events were analyzed using, Review of data from NCEP/NCAR, State Secretary of Environment and Water Resources (SEMARH/AL), satellite images from GOES-8 and GOES+Meteosat (CPTEC/INPE) and precipitation data (Proclima). The weather and severe flooding resulted from two factors, these are the disturbances in the field of trade winds that are associated with the penetration of a System Front and second, the events that occurred with the position of the intertropical convergence zone (ITCZ). Such systems have been intensified by the local convection, which contributes to a greater vertical development of clouds of rain, and the supply of latent heat, because the sea surface temperatures (SST) near the coast of NEB are above normal, which contributes to the total rainfall had been above the normal climate for the regions.

Key-words: POA, Precipitation, East Coast of Northeast Brazil, Frontal System.

Introdução

Por causa de sua localização geográfica, o Nordeste do Brasil (NEB) sofre a influência de fenômenos meteorológicos que lhe conferem características climáticas peculiares, por esse motivo é conhecida como uma região de precipitação com alta variabilidade temporal e espacial. Essa variabilidade no regime pluviométrico está associada às interações entre sistemas meteorológicos de mesoescala e macroescala. Por conseguinte, a atuação simultânea ou não desses sistemas, e seus posicionamentos relativos à Região, são responsáveis por chuvas muito acima ou muito abaixo da normal climatológica, podendo provocar enchentes como também secas. Segundo Molion e Bernardo (2002), podem se identificar três regimes básicos quanto à distribuição espacial das precipitações no NEB:

O Norte do NEB (NNE), onde os índices pluviométricos variam de 400 mm/ano no interior a mais de 2000 mm/ano no litoral e os meses mais chuvosos estão entre fevereiro e maio, tendo a Zona de



Convergência Intertropical (ZCIT), a convergência de umidade dos Alísios, brisas e Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA) e a convecção local como principais mecanismos de produção de chuvas. Raramente, o NNE sofre a penetração de frentes frias do Hemisfério Sul e do Hemisfério Norte.

O Sul do NEB, onde os índices pluviométricos variam de 600mm/ano no interior a mais de 3000mm/ano no litoral, e os meses mais chuvosos estão entre novembro e fevereiro. Os principais mecanismos de produção de chuvas são os sistemas frontais, associados à Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS), sistemas pré-frontais, convecção local e brisas de mar e terra no litoral.

O Leste do NEB (ENE), que apresenta totais pluviométricos de 600 a 3000 mm/ano e os meses mais chuvosos entre abril e julho. Os principais mecanismos de produção de chuvas são frentes frias, ou seus remanescentes, associados à Zona de Convergência do Leste do NEB (ZCEN), convergência dos Alísios e POA e as brisas marítima e terrestre (MOLION E BERNARDO, 2002).

Siqueira *et al.* (2009) ao estudarem a distribuição espacial e temporal da precipitação mensal de 26 estações pluviométricas localizadas no estado de Alagoas durante o período de 1950 à 1998, notaram que há uma grande diferença entre os regimes pluviométricos na zona da mata, no agreste e no sertão. Confirmando, assim, o resultado já descrito na literatura. Entretanto, ao analisarem dois períodos distintos, de 1950 à 1976 e de 1977 à 1998, perceberam que, no caso do primeiro período, houve um aumento nos totais pluviométricos mensais acumulado em todo o estado, já durante o segundo período o oposto veio a ocorrer, isto é, houve uma diminuição dos totais mensais pluviométricos acumulados.

Observaram ainda que existiu diferença quando observada as subdivisões da mesma região, por exemplo, perceberam que a parte norte da região da zona da mata apresentou um total acumulado mensal superior à região sul da mesma. Notaram, também, que essas diferenças nas pluviometrias foram acentuadas, ainda mais, no período de junho à agosto (inverno no hemisfério sul). Esse resultado já era esperado, pois a região apresenta esse padrão por ser uma região costeira e por sofrer a incursão de alguns sistemas sinóticos, que convergem ajudando a umidade proveniente do oceano a se levantar e condensar criando, assim, nebulosidade, e conseqüentemente a precipitação.

O objetivo desse estudo foi aprimorar os conhecimentos sobre os sistemas meteorológicos que atuam no Nordeste Brasileiro e, principalmente, no estado de Alagoas e, também, suas conseqüências sobre a região, a partir de estudos de casos de eventos extremos de tempo e clima, como eventos de precipitações intensas, sendo assim, contribuir para a melhoria da previsão de tempo e clima.

Materias e métodos

Utilizaram-se dados diários observados durante o mês de maio de 2006 de duas estações meteorológicas situadas nos municípios de Rio Largo (posto da Usina Utinga Leão) e Maceió (posto de Jacarecica), ambos coletados e cedidos pela Secretária Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas (SEMARH/AL). Foi feita uma análise preliminar para observar quais os dias do mês de maio de 2006 em que houve um aumento significativo nos totais pluviométricos diários. Depois dessa análise preliminar definiu-se os dias que foram estudados.

A partir daí, procurou-se nos respectivos bancos de dados, a saber: as imagens de satélite do Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-8) e GOES+Meteosat disponíveis no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), os dados de reanálise do National Center Environmental Prediction/National Center Atmospheric Research (NCEP/NCAR), os dados do total e da anomalia de precipitação para todo o nordeste brasileiro (Proclima), os dados da TSM do Oceano Atlântico para o mês de maio de 2006 (J.Servain – ORSTOM/BREST) e os dados da velocidade vertical Omega disponíveis no site da Physical Science Division/National Oceanic and Atmospheric Administration (PSD/NOAA), tais dados serviram para se fazer uma descrição mais detalhada dos fenômenos que causaram anomalias positivas sobre o NEB.

Resultados e discussões

Na figura 1 mostrou-se o gráfico de barras dos dados observados de precipitação diária acumulada para o mês maio de 2006 de duas estações meteorológicas localizadas em diferentes municípios de Alagoas, respectivamente, Rio Largo (Posto da Usina Utinga Leão) e Maceió (Posto de Jacarecica).

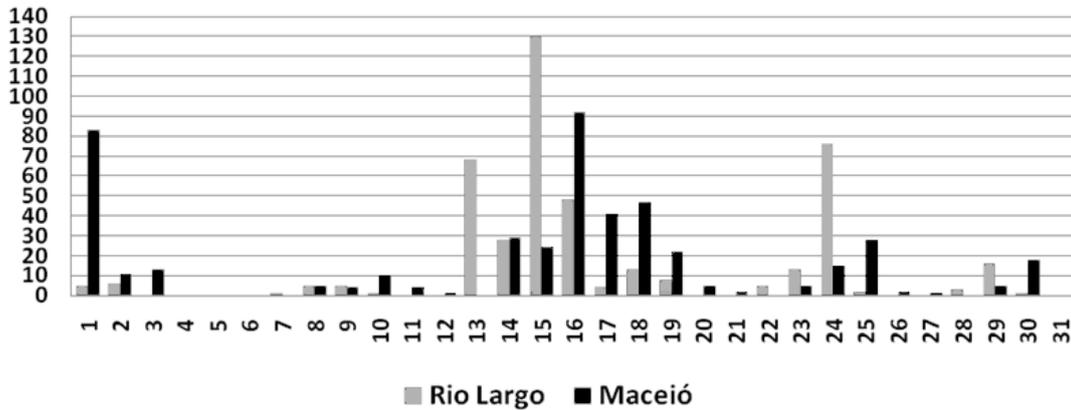


Figura 1: Gráfico de barras dos totais diários de precipitação acumulada em maio de 2006 das estações localizadas em Rio Largo (em azul) e Maceió (em vinho). Fonte: SEMARH/AL

Notou-se, na Figura 1, que os totais pluviométricos diários apresentaram-se de forma aparentemente organizada em intervalos semanais em ambas as estações meteorológicas. A estação, localizada em Maceió próxima ao litoral (Jacarecica, cor vinho), apresentou no dia 1 de maio um total pluviométrico de 83 mm, porém, para o mesmo dia, foi registrado apenas 5 mm na estação localizada em Rio Largo (Usina Utinga Leão, cor azul). Tal observação mostrou que o fenômeno que provocou a chuva sobre Maceió, possivelmente, foi de escala espacial pequena e ficou estacionário sobre a costa do Estado de Alagoas, uma vez que a distância média entre as estações é de cerca de 25 km em linha reta. Também, observou-se que, entre os dias 13 e 19 de maio de 2006, as chuvas persistiram na estação de Rio Largo, com um pico de 130 mm/dia no dia 15 e, para estação de Maceió, o pico ocorreu no dia 16, com 92 mm/dia de precipitação acumulada. Então, recorreu-se as observações de imagens de satélite no canal do infravermelho para os dias 1 e 16 de maio de 2006 para uma análise preliminar. Tais imagens estão disponíveis no site do CPTEC/INPE.

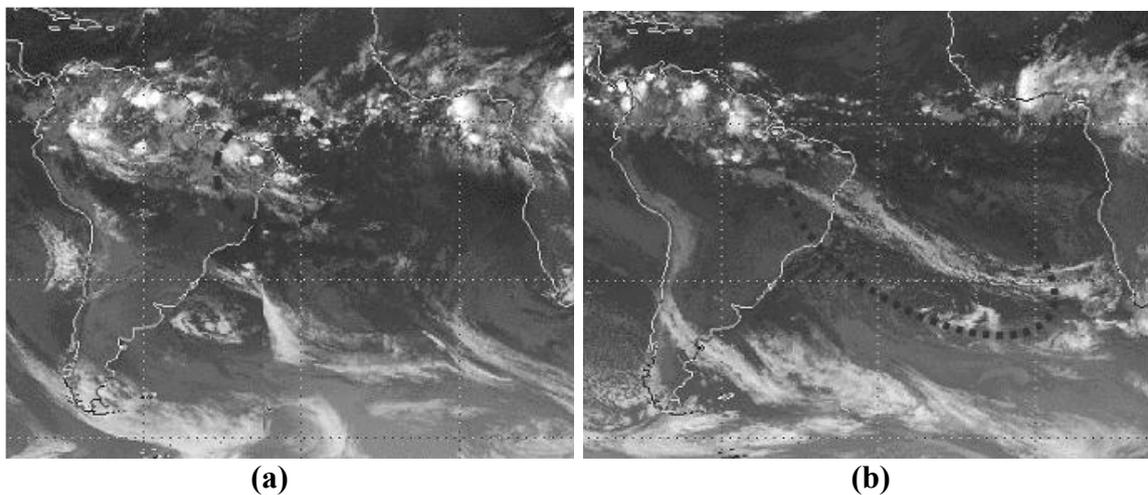


Figura 2: Imagem do Satélite GOES+METEOSAT no canal infravermelho as 06Z para o mês de maio de 2002. (a) dia 01 e (b) dia 16. Fonte: CPTEC/INPE

Mostrou-se, na Figura 2, a composição das imagens dos Satélites GOES+METEOSAT no canal infravermelho as 06Z para os dias 1 (Figura 2a) e 16 (Figura 2b) de maio de 2006. Verificou-se, na Figura 2a, um aglomerado de nuvens do tipo cumulonimbo (círculo de cor vermelha), com complexos convectivos que apresentaram topos frios sobre o NEB, provenientes da África. Observou-se, na Figura 2b, a presença de um sistema frontal do Hemisfério Sul (SFHS, elipse tracejada de cor vermelha) que visivelmente atingiu o NEB e interagiu com o campo dos ventos, gerando uma perturbação ondulatória nos Alísios de Sudeste (POA).

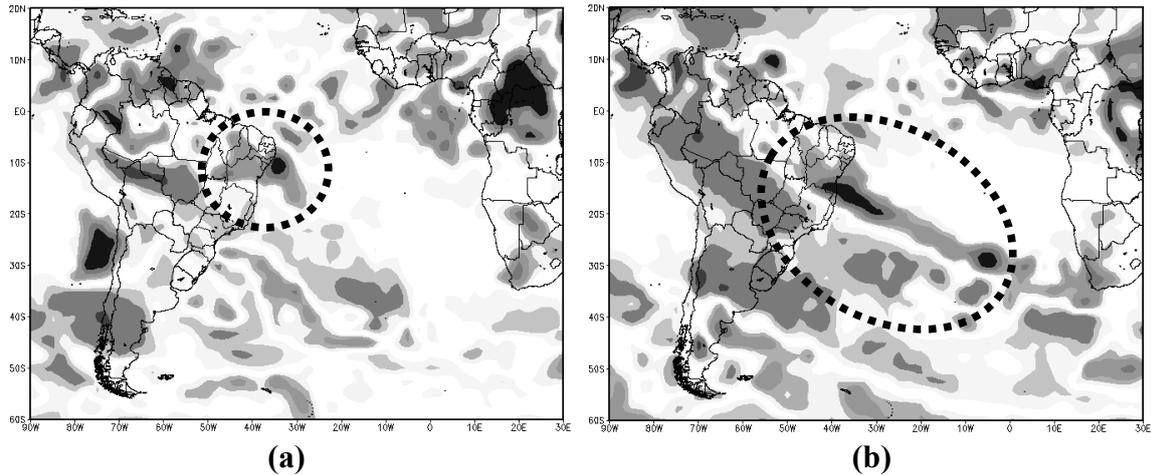


Figura 3: Anomalia de ROLE (W/m^2) média diária em (a) dia 1 e em (b) dia 16 para maio de 2006. Fonte: NCEP/PSD/NOAA

Observou-se, por meio dos campos das anomalias de ROLE para o dia 01 de maio de 2006 (Figura 3a, elipse tracejada de cor preta), que houve convecção profunda sobre o NEB apresentando um núcleo mais intenso sobre a costa leste, chegando a atingir valores entre -50 e $-70 W/m^2$ mostrando que os aglomerados apresentaram grande desenvolvimento vertical sobre a região. Na Figura 3b (elipse mais alongada tracejada de cor preta), dia 16, observou-se uma banda de nuvens com orientação de Sudeste, posicionamento típico dos sistemas frontais do Hemisfério Sul (SFHS), com núcleos que atingiram de -40 a $-70 W/m^2$. Ficou visível que esse SFHS atingiu os estados da costa leste do NE.

Na Figura 4 mostraram-se os mapas, respectivamente, em (a) do total pluviométrico mensal acumulado ($mm/mês$) e, em (b), a composição da anomalia para o mês de maio de 2006 em relação às normais climatológicas de 1961 a 1990.

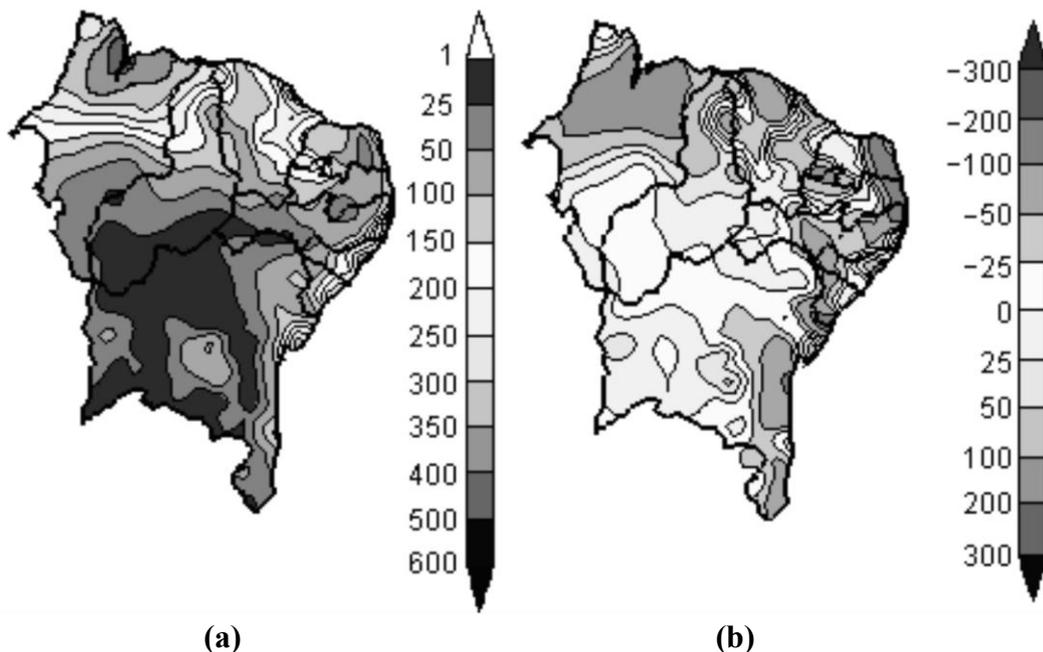


Figura 4: Total acumulado e (c) desvio em relação à média climatológica (1961-1990).

Na Figura 4a observou-se que as chuvas foram intensas nos setores: norte do Maranhão, leste de Pernambuco, leste de Alagoas e leste de Sergipe. Somente na região litorânea de Alagoas os totais acumulados no mês ficaram entre 300 e $350 mm/mês$. Na Figura 4b mostraram-se as anomalias da precipitação em relação às normais climáticas de 1961-1990. As chuvas ficaram acima da média no norte do Maranhão, Piauí e Ceará, sudoeste do Rio Grande do Norte, no leste de Alagoas e de Sergipe. Observou-



se, também, que ocorreram anomalias negativas em algumas regiões como, no noroeste do Ceará, a leste do Rio Grande do Norte, da Paraíba, de Pernambuco e da Bahia.

Na figura 5 mostraram-se os Diagramas de Hovmoller de ROLE (W/m^2) para todo o mês de maio de 2006. Em (a) Anomalias longitude x tempo e (b) médias diárias latitude x tempo. O diagrama de Hovmoller nos dá indícios de como se deu o deslocamento do sistema nas duas componentes terrestres, longitude (direção oeste – leste) e latitude (direção norte – sul). Já a variável meteorológica radiação de ondas longas emitidas (ROLE) mostra a nebulosidade associada ao sistema, quanto menos os valores de ROLE mais nebulosidade e maior altura do desenvolvimento vertical das nuvens.

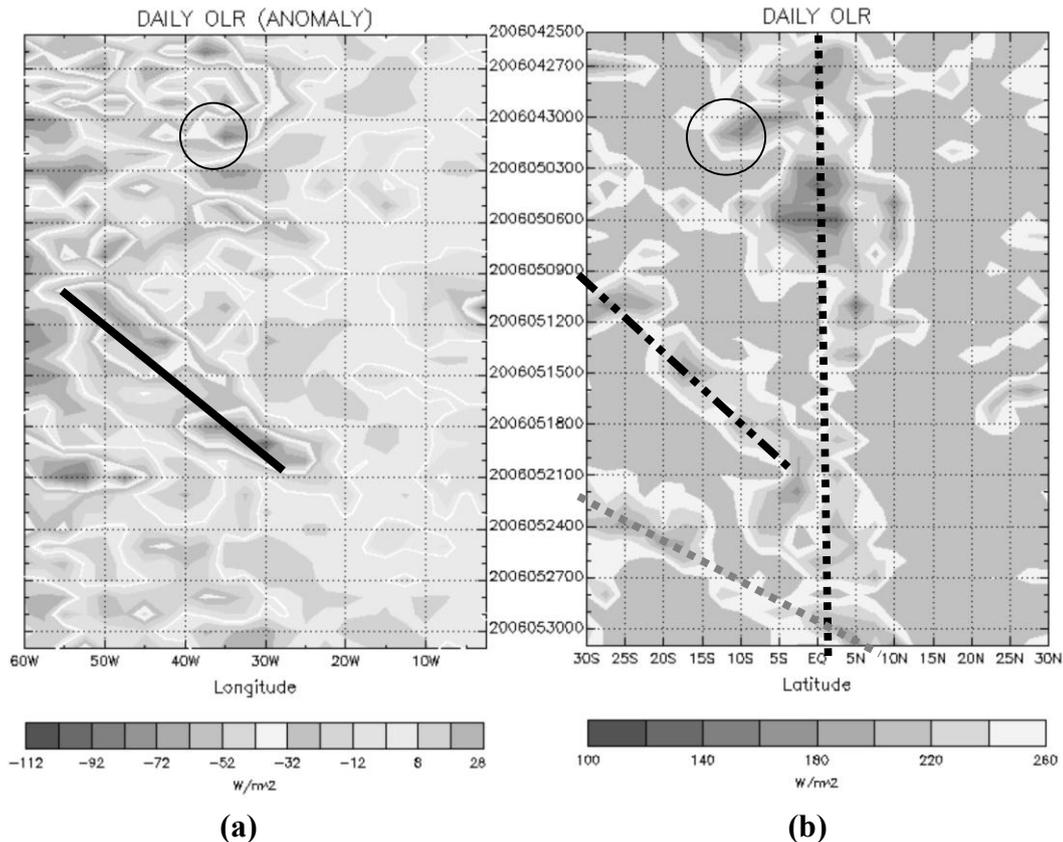


Figura 5: Diagrama de Hovmoller de ROLE para o mês de maio de 2006. (a) Anomalias longitude x tempo e (b) médias diárias latitude x tempo (Fonte de dados: ESRL/PSD/NOAA).

Mostraram-se, na Figura 5b, as médias diárias da ROLE no diagrama Hovmoller latitude verso tempo, fixos para longitude $35^{\circ}W$ (localização de Maceió). Notou-se a intensificação das atividades convectivas da ZCIT (linha negra tracejada) na primeira metade do mês de maio, que se expandiu na faixa $10^{\circ}S$ e $10^{\circ}N$. Notou-se que houve um deslocamento de norte, associado aos Alísios de NE, iniciados no dia 26 de abril que atingiu os $10^{\circ}S$ no dia 1 (circulo negro). Para o evento dos dias 15 e 16, observou-se um deslocamento proveniente da região sul que se iniciou no dia 10 e que ultrapassou o equador e atingiu os $10^{\circ}N$ (linha vermelha tracejada com pontos). Na figura 5a, diagrama Hovmoller longitude verso tempo, fixos para latitude $9^{\circ}S$ (localização de maceió), viu-se que no dia 1 (circulo negro) surgiu uma anomalia negativa de ROLE em cima da longitude de $35^{\circ}W$ onde localizado geograficamente o estado de Alagoas mostrando que sobre a região houve alta nebulosidade. O mesmo pode ser observado entre os dias 9 e 21 de maio.

Portanto, pode se afirmar que o evento do dia 1 esteve relacionado com distúrbios nos ventos Alísios (POAS) de NE e que o evento dos dias 15 e 16 apresentaram uma associação entre um SFHS e as POAS, o que contribuiu para que houvesse um aumento na convergência do fluxo de umidade na região. Percebeu-se, também, que houve uma forte interação de sistemas, provenientes da África Ocidental, com a ZCIT, fato que intensificou os sistemas convectivos, gerando totais pluviométricos acima da média.

Na figura 6 mostraram-se em (a) Anomalias de TSM ($^{\circ}C$) para o mês de maio de 2006 e (b) média do vetor pseudo-tensão de cisalhamento superficial relacionado ao vento (m^2/s^2) em superfície para o mês



de maio de 2006.

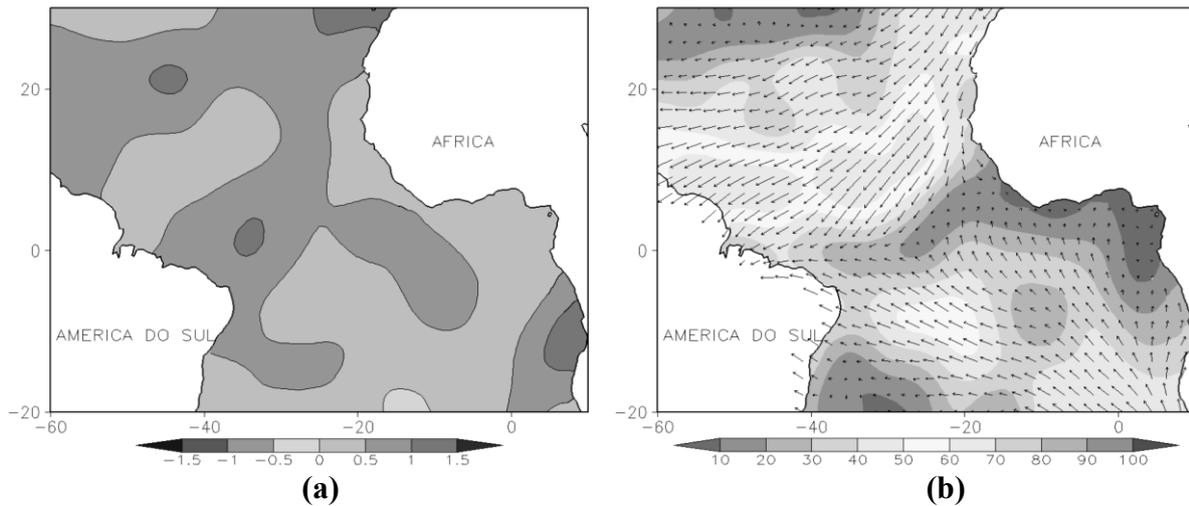


Figura 6: Em (a) Anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) para o mês de maio de 2006 e (b) média do vetor pseudo-tensão de cisalhamento superficial relacionado ao vento (m^2/s^2) em superfície para o mês de maio de 2006. Fonte: J.Servain – ORSTOM/BREST

Geralmente, eventos de POAS estão associados a anomalias positivas de TSM, pois, águas mais quentes mantêm o fluxo de calor latente, alimentando esses complexos convectivos. Segundo Hastenrath (1985), valores de TSM acima de $26,5^{\circ}\text{C}$ são necessários para a intensificação das perturbações atmosféricas sobre o Oceano Atlântico. Na Figura 6a, têm-se anomalias de TSM para o mês de maio. Foi notável que as águas estiveram mais quente que o normal em praticamente todo o Atlântico Equatorial. Os núcleos quentes apresentaram temperaturas 1 a $1,5^{\circ}\text{C}$ acima do normal.

Mostrou-se, na Figura 6b, a média do vetor pseudo-tensão de cisalhamento superficial, ou pseudo-estresse do vento (m^2/s^2) na superfície, para o mês de maio de 2006. Foi notável a predominância da direção SE ao longo da costa leste e de NE sobre a costa norte. A intensidade do pseudo-estresse esteve entre 30 a $40 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Para esses tipos de evento também é necessário analisar a convecção local. Para isso, foram feitas secções verticais de movimentos verticais (velocidade Omega) para os dias dos eventos. Então, foram feitas secções verticais de movimentos verticais da atmosfera (velocidade Omega) para os dias dos eventos.

Na Figura 7a mostrou-se a velocidade Omega (Pa/s) num diagrama altura versus longitude, fixados a uma latitude de 10°S para o dia 1 de maio de 2006. Verificou-se uma intensa convecção (elipse) em 35°W (coordenada de Alagoas) por toda troposfera. Alguns núcleos atingiram $-0,08 \text{ Pa/s}$. Também ficou visível a subsidência a oeste da convecção, o que explica os baixos índices pluviométricos no interior da Região. Ainda para o dia 1, retratou-se Omega em diagrama altura versus latitude (Figura 7b), fixados em longitude de 35°W . Ficou visível que houve convecção na região entre 30°S e 20°N , por toda a troposfera, com valores mais intensos (linha tracejada vermelha) em cerca de 8°S , limite de Alagoas com Pernambuco. Na Figura 7c, mostrou-se Omega em altura variando com longitude, fixados a uma latitude de 10°S para o dia 16 de maio de 2006. Verificou-se uma intensa convecção (elipse) entre 40 e 35°W (coordenadas de Alagoas) e entre 55 e 50°W , por toda troposfera. Notou-se que a subsidência foi menos intensa e mais restrita espacialmente que a do dia 1. Ainda, para o dia 16, Omega em altura variando com latitude, fixados a uma longitude de 35°W foi mostrada na Figura 7d. Ficou visível que houve convecção (linha tracejada vermelha) na região entre 15°S e 5°N , com forte subsidência entre 25 e 15°S , associada à retaguarda do SFHS.

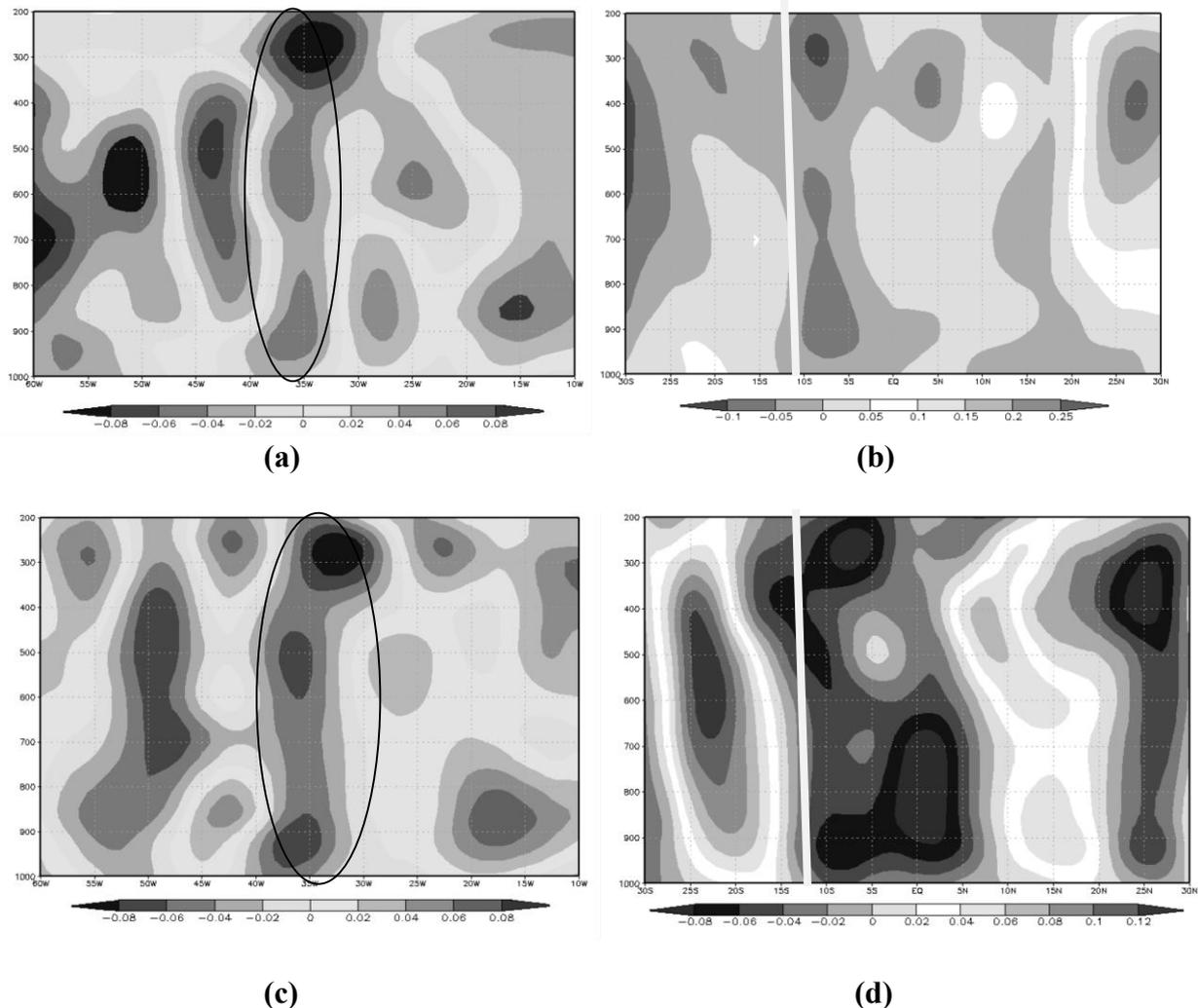


Figura 7: Seção vertical de Omega (Pa/s) para maio de 2006. dia 1: (a) altura x longitude, e (b) altura x latitude; dia 16: (c) altura x longitude, e (d) altura x latitude. Fonte dos dados: PSD/NOAA

CONCLUSÕES

Observou-se que a costa leste do NEB sofre grande influência de sistemas convectivos intensos, oriundos principalmente do Oceano Atlântico. Neste caso, os fenômenos que provocaram os totais pluviométricos acima das normais climatológicas sobre a Região Nordeste, em particular no Estado de Alagoas, para o dia 1 de maio, foram perturbações no campo dos ventos alísios, associadas aos eventos e posicionamento da ZCIT. Para o dia 16 de maio, a penetração de um sistema frontal, que atingiu latitudes mais baixas que o usual, contribuiu para o aumento da convergência do fluxo de umidade, interagindo com a ZCIT e com os ventos Alísios de SE, gerando perturbações ondulatórias (POAS). Tais sistemas foram intensificados pela circulação local (brisa), que contribuiu para um maior desenvolvimento vertical das nuvens de chuva, e pelo fornecimento de calor latente, devido às TSMs anormalmente quentes ao longo da costa leste do NEB, contribuindo para que os totais pluviométricos ficassem acima do normal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069-1079.
- Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti, 1997: ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate*, 10, 1004-1020.



- ALVES, J. M. B., FERREIRA, N. S., REPELLI, C. A. Um estudo diagnóstico das características atmosféricas associadas à atuação de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre Atlântico Tropical Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 11, n. 1-2, p. 44-58, 1996.
- HASTENRATH, S. *Climate and Circulation of the tropics*. Atmospheric Sciences Library, D. Reidel Publishing Company, 455 p, 1985.
- KOUSKY, V. E. & GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33(6), p. 538-551, 1981.
- LIMA, M. C. Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE-5283-TDI/453 222p, INPE, São José dos Campos (SP), 1991.
- MOLION, L. C. B. & BERNARDO, S. O. Uma Revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17(1) :1-10, ISSN0102-7786, 2002
- RAO, V. B., CHAPA, S. R., FRANCHITO, S. H. Decadal variation of atmosphere-ocean interaction in the Tropical Atlantic and its relationship to the Northeast Brazil rainfall. INPE, São José dos Campos (SP), Brazil, 1993.
- RAO, V. B., LIMA, M. C., FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. *Journal of Climate*, v. 6, p. 1754-1763, 1993.
- SIQUEIRA, A.H.B, et al. Impactos do ENOS no Norte e Nordeste Brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal Do Pacífico, XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais - XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.
- SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B.; SOUZA, L. O.; VAZ, J. C. M;. Impactos da Variabilidade Climática no Cultivo de Soja no Leste da Amazônia. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracajú. Anais - XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007.
- SIQUEIRA, A. H. B.; SNATOS E. B.; MOLION, L. C. B.;. Análise exploratória da distribuição espacial de precipitação sobre o estado de Alagoas. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. Anais - XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009.
- SOUZA, E. B., ALVES, J. M. B., NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do Nordeste Brasileiro em associação aos eventos do padrão de dipolo observados na bacia do Atlântico Tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13 (2): 45-55, ISSN0102-7786, 1998.
- SOUZA, E. B., ALVES, J. M. B., XAVIER, T. M. B. S. Distribuição mensal e sazonal da precipitação no semi-árido nordestino durante os anos de predominância de aquecimento ou de resfriamento observados em toda a bacia do Atlântico Tropical. *Revista Brasileira Meteorologia*, 14 (1): 01-09, ISSN0102-7786, 1999.
- TURKEY, J. W., 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, Mass., Addison-Wesley, 688p.
- YAMAZAKI, Y. & RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic ocean. *Journal of the Meteorology Society of Japan*, v. 55, n. 2, p. 204-207, 1977.