

INTERACÇÃO ENTRE SISTEMAS DE GRANDE ESCALA ATUANTES SOBRE OS OCEANOS ATLÂNTICO NORTE E SUL: ESTUDO DE CASO

M.C. Damião Mendes¹, David Mendes¹ e Maria Regina da S. Aragão²

¹Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Campo Grande, edifício C8, Piso 3, Lisboa, Portugal, CEP 1749-016: mcmendes@fc.ul.pt

² Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), Av. Aprígio Veloso 882-Bloco CL, Campina Grande, PB, Brasil

RESUMO

A principal motivação para a realização deste estudo de caso foi investigar as condições atmosféricas que influenciaram o Nordeste do Brasil em janeiro de 1985, considerando a disponibilidade de dados de reanálises do NCEP/NCAR, dados observados de chuva e principalmente de imagens do satélite METEOSAT nos canais do infravermelho térmico e vapor d'água. Em alguns dias de janeiro de 1985 foi possível verificar através do radar meteorológico banda-C instalado em Petrolina (Pernambuco-Brasil) a existência de extensas e duradouras áreas disformes de precipitação associadas aos sistemas convectivos de mesoescala cuja formação e/ou manutenção foi favorecida por condições atmosféricas de grande escala reinantes entre os dois Hemisférios. Sistemas tais como a Zona de Convergência Intertropical, frentes frias austrais e os Vórtices Ciclónico em Altos Níveis, actuaram simultaneamente sobre o Nordeste do Brasil e interagiram directamente com sistemas frontais boreais (cavados) situados sobre a África e Europa. Os sistemas frontais boreais actuantes sobre a África e a Europa se comportaram como fonte de realimentação para a Zona de Convergência Intertropical e os Vórtices Ciclónico em Altos Níveis, o que favoreceu o aumento da instabilidade e, conseqüentemente, as chuvas sobre a região. Essa interacção entre os dois Hemisférios, essencialmente sobre o Oceano Atlântico, se deu através, dentre outros factores, da convergência de umidade nos baixos níveis e da advecção de vorticidade e temperatura.

ABSTRACT

The main motivation for this study was to investigate the atmospheric conditions that influenced Northeast Brazil on January 1985 by means of NCEP/NCAR reanalyses, observed rainfall data and thermal infrared and water vapour Meteosat satellite images. Long-lasting and extensive shapeless stratiform precipitation areas were seen on C-band meteorological radar images collected at Petrolina (9°24'S, 40°30'W), located in the semi-arid area of Northeast Brazil, on some days of January 1985. These areas were associated with mesoscale convective systems whose formation and/or maintenance were favoured by large-scale atmospheric conditions in both hemispheres. The Intertropical Convergence Zone, southern cold fronts and upper tropospheric cyclonic vortices acted simultaneously over Northeast Brazil and interacted with northern frontal systems (troughs) located over Africa and Europe. The latter played a feedback role on the maintenance of the Intertropical Convergence Zone and the upper tropospheric cyclonic vortices, favouring atmospheric instability and rainfall in the region. The interaction between hemispheres, essentially over the Atlantic Ocean, occurred through vorticity and temperature advection, and low-level moisture convergence, among other factors.

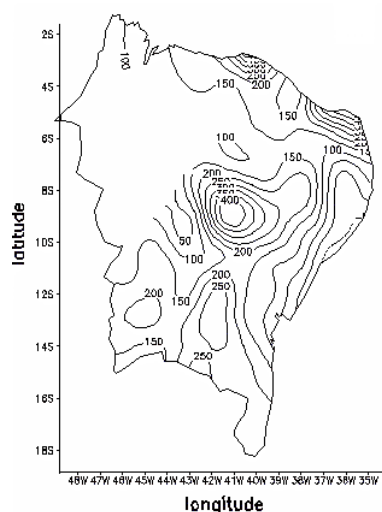
Palavras-chave: interacção, realimentação, grande escala, mesoescala, Nordeste do Brasil

Key words: interaction, feedback, large scale, mesoscale, Northeast Brazil

1. INTRODUÇÃO

A principal motivação para a realização deste estudo de caso foi investigar as condições atmosféricas que influenciaram o Nordeste do Brasil entre os dias 15 e 25 de janeiro de 1985, considerando a disponibilidade de imagens de satélite METEOSAT para esse período, onde foi possível notar bandas de nebulosidade convectiva de mesoescala que actuaram conjuntamente com a nebulosidade associada aos sistemas de grande escala dos Hemisférios Norte e Sul. No período estudado, destacou-se os dias 18 e 24, que apresentaram extensas e duradouras áreas disformes de precipitação, predominantemente estratiforme (Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 1996; Silva Aragão et al., 1999). Dados de radar banda-C para os dias 18 e 24 de janeiro, levaram Silva Aragão et al. (1999) sugerir que as áreas de precipitação deveriam estar associadas aos sistemas convectivos de mesoescala, cuja formação e/ou manutenção se favoreceu das condições de grande escala. Nas imagens de satélite para esses dias verificou-se que a nebulosidade entre sistemas de grande escala dos dois Hemisférios confundiram entre si, sugerindo uma possível interação entre os sistemas que actuavam no Nordeste do Brasil com sistemas frontais bariais localizados sobre a África e Europa. Nesse trabalho foram discutidas as principais características sinópticas utilizando dados de reanálises do NCEP e ECMWF e imagens do satélite METEOSAT. Em linhas gerais, os totais pluviométricos mais elevados ocorreram a partir do dia 15, onde dentro do período estudado, se observou que quatro dias se destacam por apresentar maiores valores médios de chuva: 19 (Ceará), 21 (Rio Grande do Norte), 22 (Paraíba) e 25 (Pernambuco). Verificou-se ainda para todos os estados do Nordeste do Brasil que o total mensal esteve acima da média climatológica e que em alguns dias as chuvas observadas ficaram em torno de 25% da normal (Fig. 1).

Figura 1 – Distribuição espacial do desvio de precipitação normalizado com respeito à média climatológica (em percentagem) para Janeiro de 1985. (Fonte dos dados: SUDENE/DCA)



Por outro lado, a nebulosidade associada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e aos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) esteve sempre intensa e presente na maioria dos dias de Janeiro de 1985. Essa nebulosidade aumentou consideravelmente quando se verificou, através das imagens de satélite, a presença de um cavado associado aos sistemas frontais sobre a África e na Europa (Fig. 2a,b). Esses fatos foram o que mais nos incentivaram, onde a base do nosso estudo se concentrou em análises sinópticas sobre a interação entre os

sistemas de mesoescala e grande escala austrais, como também entre os sistemas de grande escala actuates nos dois Hemisférios.

Figura 2 - Imagens do satélite METEOSAT no canal do infravermelho térmico (a) e do vapor d'água (b) para os dias de 16 a 24 de janeiro de 1985 às 11:55 TMG. (Fonte das imagens: ESA)

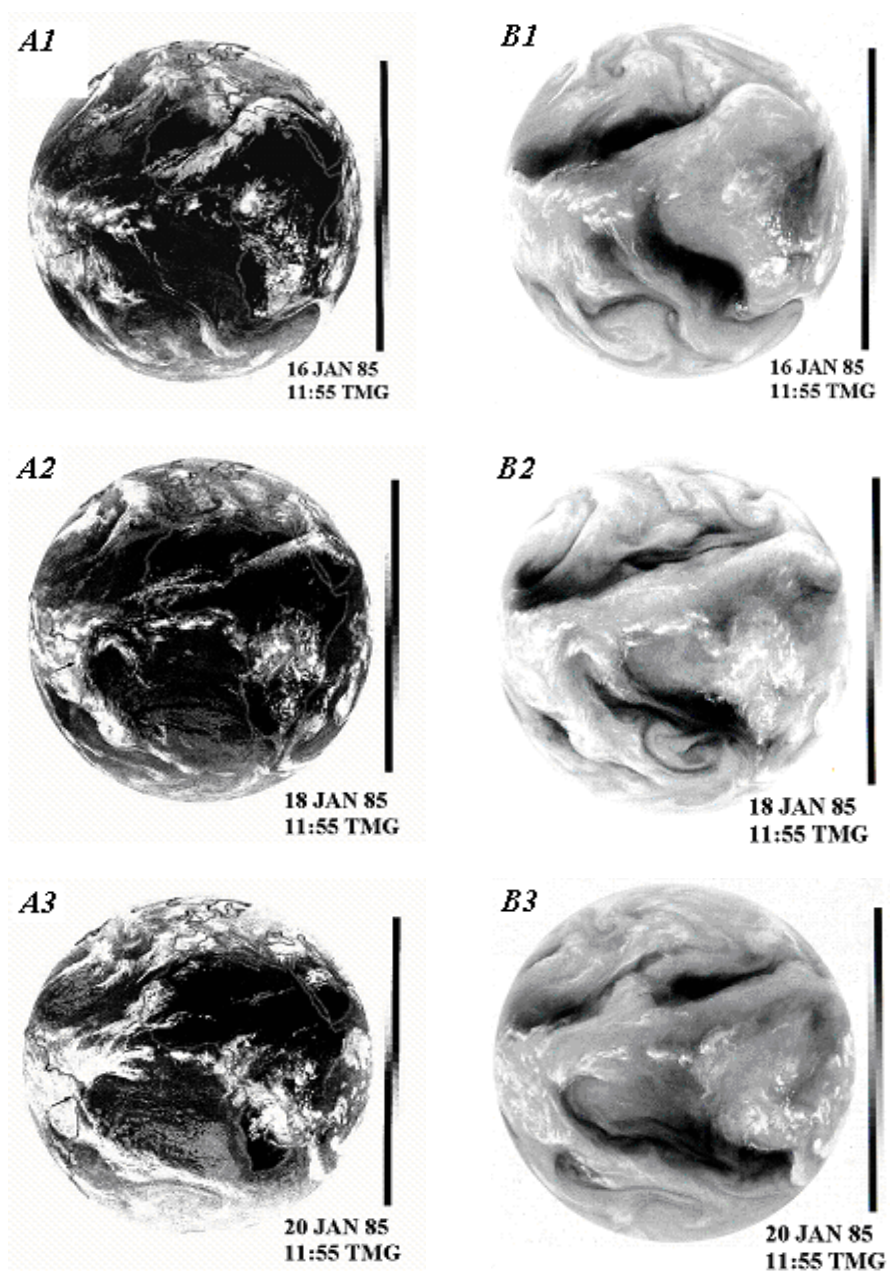
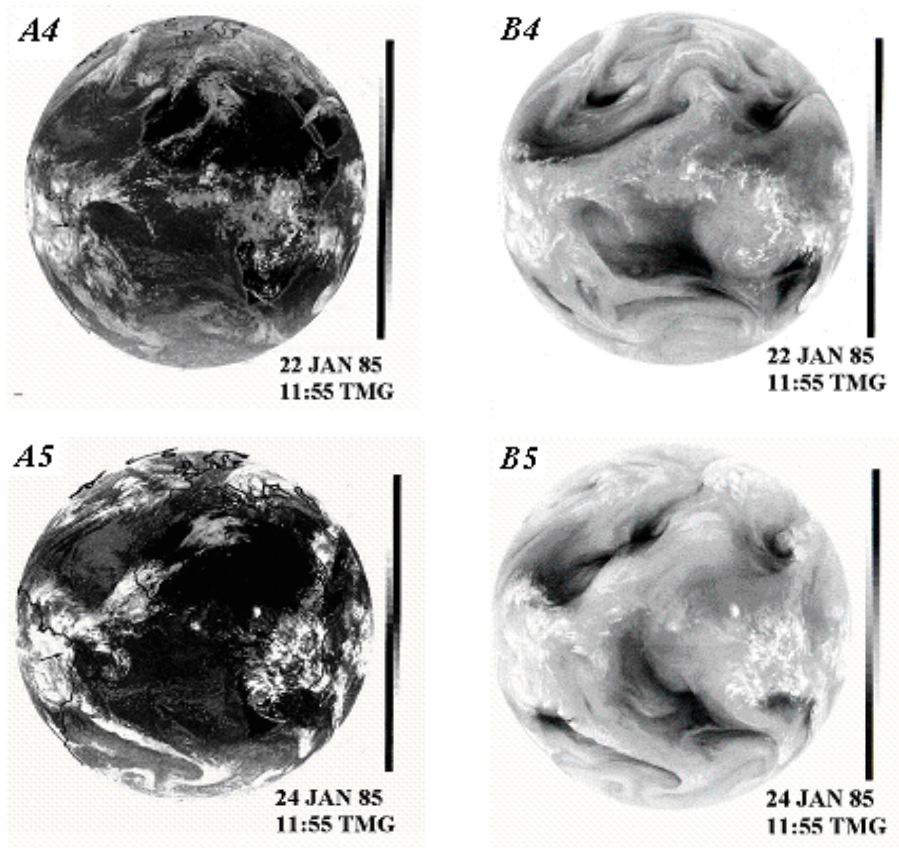


Figura 1 - continuação



2. DADOS E METODOLOGIA

3.1 – Dados

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados de reanálises para as 12:00 TMG em pontos de grade (2.5 x 2.5 graus) do NCEP para o período estudado, das variáveis: 1) das componentes zonal e meridional do vento nos níveis de 200, 500 e 850 hPa e 2) umidade específica no nível de 700 hPa. A qualidade dos dados de reanálises do NCEP, vantagens e desvantagens podem ser vistas em Kalnay et al.(1996) e Riel et al.(2001). Com os dados das componentes zonal e meridional do vento foram calculadas a divergência e vorticidade em 200 hPa e 850 hPa. Foram utilizados nesse trabalho ainda totais diários de chuva para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, bem como os seguintes dados:

a) NCEP

Anomalias semanais da temperatura da superfície do mar;
Temperaturas diárias do ar no nível de 850 hPa.

b) ECMWF

Precipitação convectiva para os horários da 00:00 e 12:00 TMG;
Umidade do solo na profundidade de 1 m às 12:00 TMG.

Finalmente, utilizou-se imagens do satélite METEOSAT para as 11:55 TMG nas bandas espectrais do visível, infravermelho térmico e vapor d'água.

2.2 – Metodologia

Os desvios de precipitação normalizados foram obtidos com respeito à média climatológica obtida a partir de uma série pluviométrica de 80 anos (1911 a 1990) disponível para cada posto meteorológico dos estados do Nordeste do Brasil. Os desvios para todos os postos pluviométricos de cada estado do Nordeste do Brasil foram obtidos utilizando a seguinte equação:

$$D_p = \left(\frac{P_p - P_m}{P_m} \right) \times 100$$

onde:

D_p é o desvio para cada posto; **P_p** é a precipitação observada no posto e **P_m** é a precipitação média climatológica.

As análises sinópticas foram obtidas dos campos das variáveis atmosféricas visualizadas através do GRADS, onde o principal objectivo foi verificar detalhadamente a evolução temporal e espacial diária dos sistemas sinópticos actuantes em Janeiro de 1985 sobre Nordeste do Brasil. Assim, esse estudo de caso foi realizado em virtude de ainda não se conhecer detalhadamente a evolução espacial e temporal dos sistemas meteorológicos ocorridos neste mês, no que se refere a interacção entre os dois Hemisférios.

3 – ANÁLISE SINÓPTICA

A ocorrência das chuvas extremas sobre o Nordeste, no mês de janeiro de 1985, mostrou uma ligação directa com a actuação VCAN, ZCIT e de sistemas frontais boreais e austrais como pode ser visto nas imagens de satélite (Fig.2). Os maiores totais de chuva ocorreu nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, o que vem a confirmar a grande variabilidade temporal e espacial da precipitação, que por sua vez, é uma característica dessa Região (Fig. 1). É interessante notar nas imagens de satélite que a nebulosidade associada aos sistemas de grande escala se confunde com aquela associada aos sistemas convectivos de mesoescala que actuaram mais nitidamente nos dias 18 e 24. A nebulosidade convectiva organizada em mesoescala vista nas imagens de satélite dos dias 18 e 24, foi confirmada pelos campos de precipitação convectiva intensa verificada na Figura 3. Os campos de precipitação convectiva da reanálise do ECMWF indicou a presença de convecção profunda no horário das 0:00 TMG em comparação com aqueles correspondentes para o horário das 12:00 TMG (Fig. 3). A presença do VCAN e de outros sistemas meteorológicos de grande escala proporcionou céu totalmente encoberto na maioria dos dias estudados. As análises do escoamento em 200 hPa mostraram a contribuição do alinhamento do cavado de latitudes médias com o cavado do Nordeste\VCAN na intensificação deste último, bem como o posicionamento do AB mais para leste em relação à climatologia (Fig.4). No Hemisfério Norte verifica-se no período de 15 a 25 de janeiro de 1985 a presença de um cavado no nível de 200 hPa sobre o Atlântico, cujo deslocamento lento para leste apresentou grande intensificação no final do período. Este sistema também pode ser visto no campo da vorticidade relativa na forma de uma área ciclónica (Fig. 5). A presença deste cavado parece ter contribuído para a intensificação da nebulosidade associada a ZCIT e ao VCAN.

Durante o período estudado houve divergência em altos níveis e convergência em baixos níveis na maior parte do Brasil consistente com a actuação da AB e convergência em altos níveis na região do VCAN (não mostrado). A vorticidade anticiclónica associada ao anticiclone da Bolívia e a vorticidade ciclónica associada ao VCAN estão expostas na Figura 5. Na Figura 4 assinala-se ainda a presença dos anticiclones subtropicais do Pacífico e Atlântico Sul e de uma circulação anticiclónica a noroeste da América do Sul em 850 hPa. Essa última estende-se até os altos níveis situando-se ao norte da América do Sul, como foi identificado também por Ramirez (1996) e Anjos (1995). Esses sistemas estão associados a

núcleos de vorticidade anticiclônica e de divergência vistos em todos os dias analisados. Por outro lado, os campos de ROL apresentaram configurações consistentes com as imagens de satélite, evidenciando assim a influência da ZCIT, dos VCAN e dos sistemas frontais boreais e austrais. Em alguns dias de Janeiro foi possível notar nas imagens de satélite a presença de aglomerados convectivos de mesoescala cuja precipitação associada foi detectada pelo radar meteorológico banda-C instalado em Petrolina (Correia et al., 1996; Araújo, 1996; Silva Aragão et al., 1996; Silva Aragão et al., 1999 e Damião, 1999). Outro aspecto importante encontrado no estudo de caso foi a ocorrência de La Niña no Pacífico e do dipólo de TSM no Atlântico o que foi, por sua vez, favoráveis à precipitação no Nordeste do Brasil. Esses fenômenos, juntamente com a presença constante de uma área de máxima umidade do solo, que se estende desde a Amazônia até o Sudeste do Brasil, tiveram um papel importante na formação, manutenção e intensificação dos sistemas meteorológicos de grande escala durante o período de 15 a 25 de janeiro de 1985.

Figura 3 - Precipitação convectiva (mm) às 0:00 TMG (painéis da esquerda/1) e 12:00 TMG (painéis da direita/2) para os dias de 16 de janeiro (a), 18 de janeiro (b), 20 de janeiro (c), 22 de janeiro (d) e 24 de janeiro de 1985 (e). Observe que a escala de cores em (1) difere daquela em (2). (Fonte: ECMWF/CPTEC).

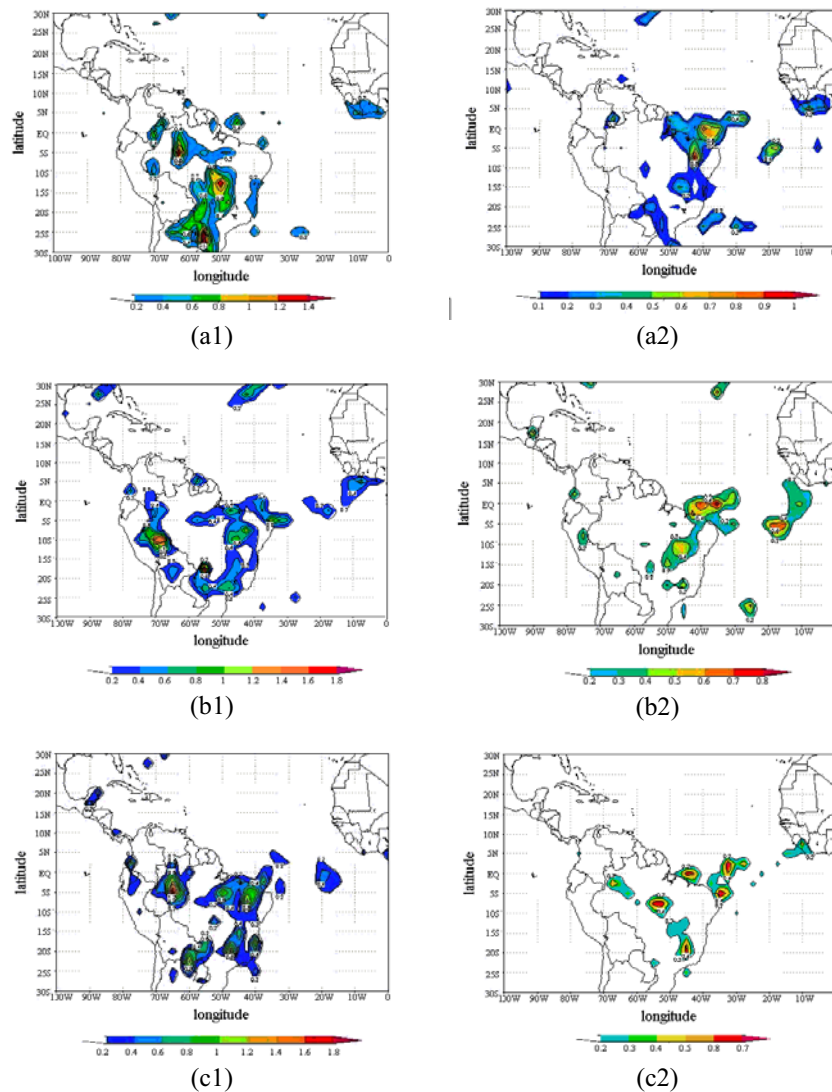


Figura 3 – continuação

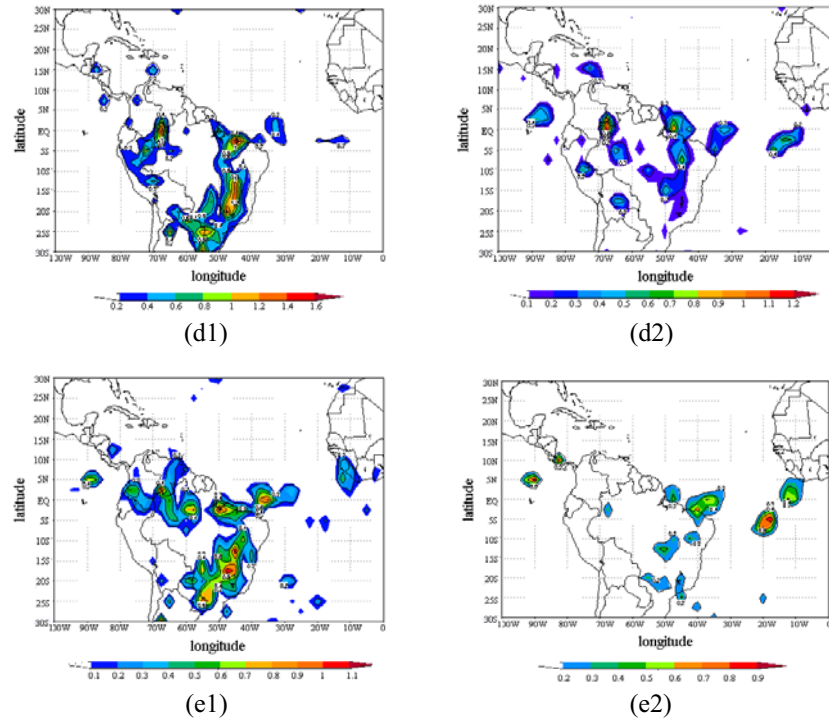


Figura 4 - Linhas de corrente e magnitude do vento (m/s) em 200 hPa (painéis da esquerda/1) e 850 hPa (painéis da direita/2) para os dias de 16 de janeiro (a), 18 de janeiro (b), 20 de janeiro (c), 22 de janeiro (d) e 24 de janeiro de 1985 (e). (Fonte: NCEP/CPTEC)

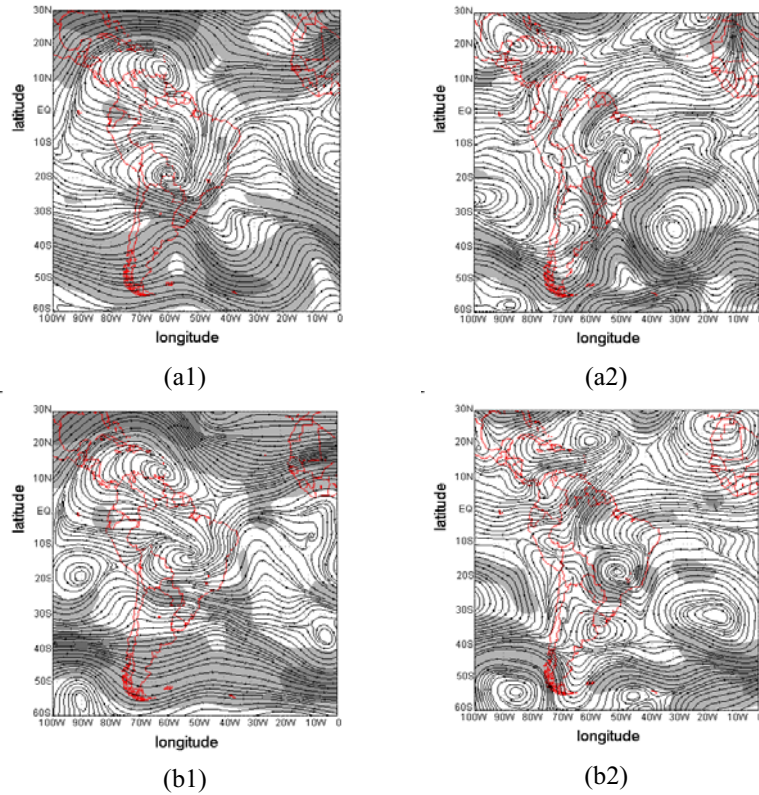


Figura 4 – continuação

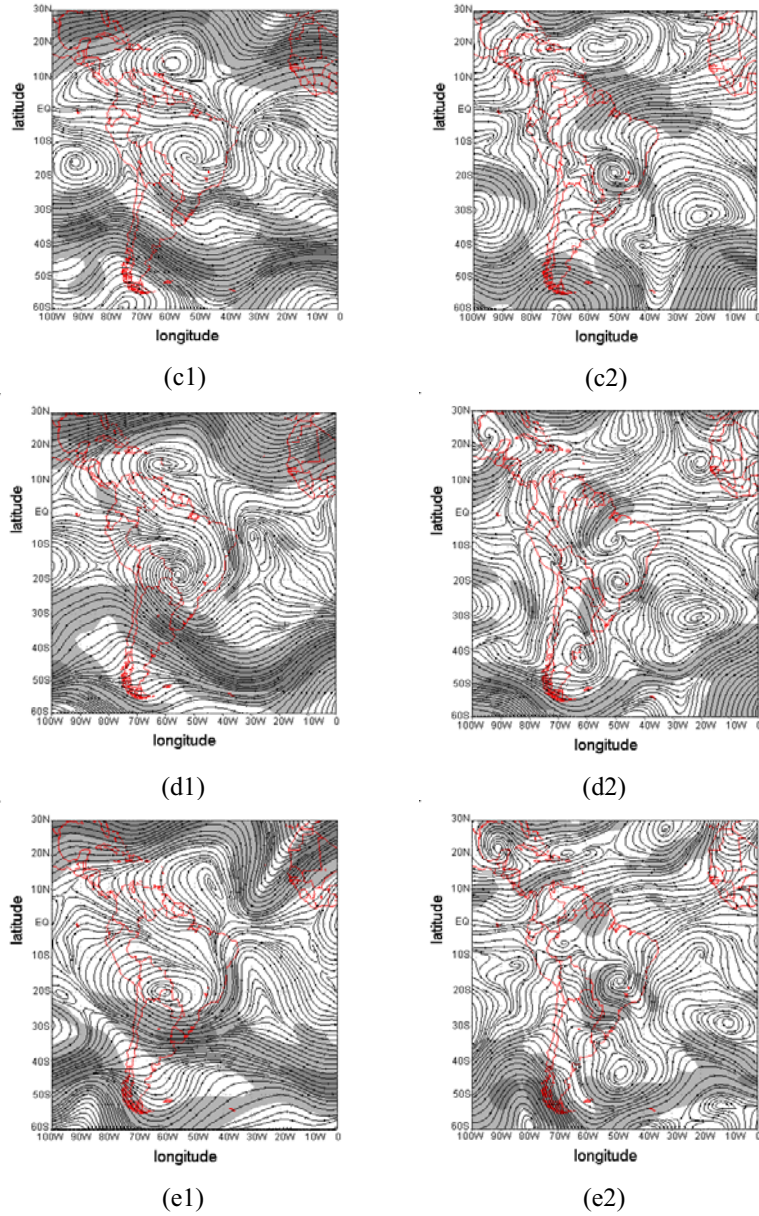


Figura 5 - Vorticidade relativa em 200 hPa (painéis da esquerda/1) e 850 hPa (painéis da direita/2) para os dias de 16 de janeiro (a), 18 de janeiro (b), 20 de janeiro (c), 22 de janeiro (d) e 24 de janeiro de 1985 (e).
(Fonte: NCEP/CPTEC)

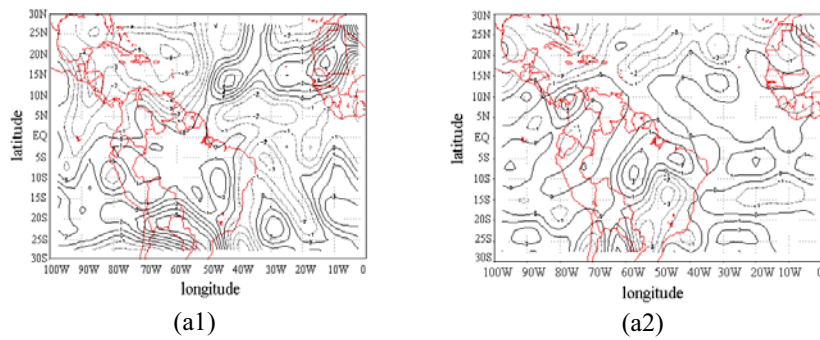
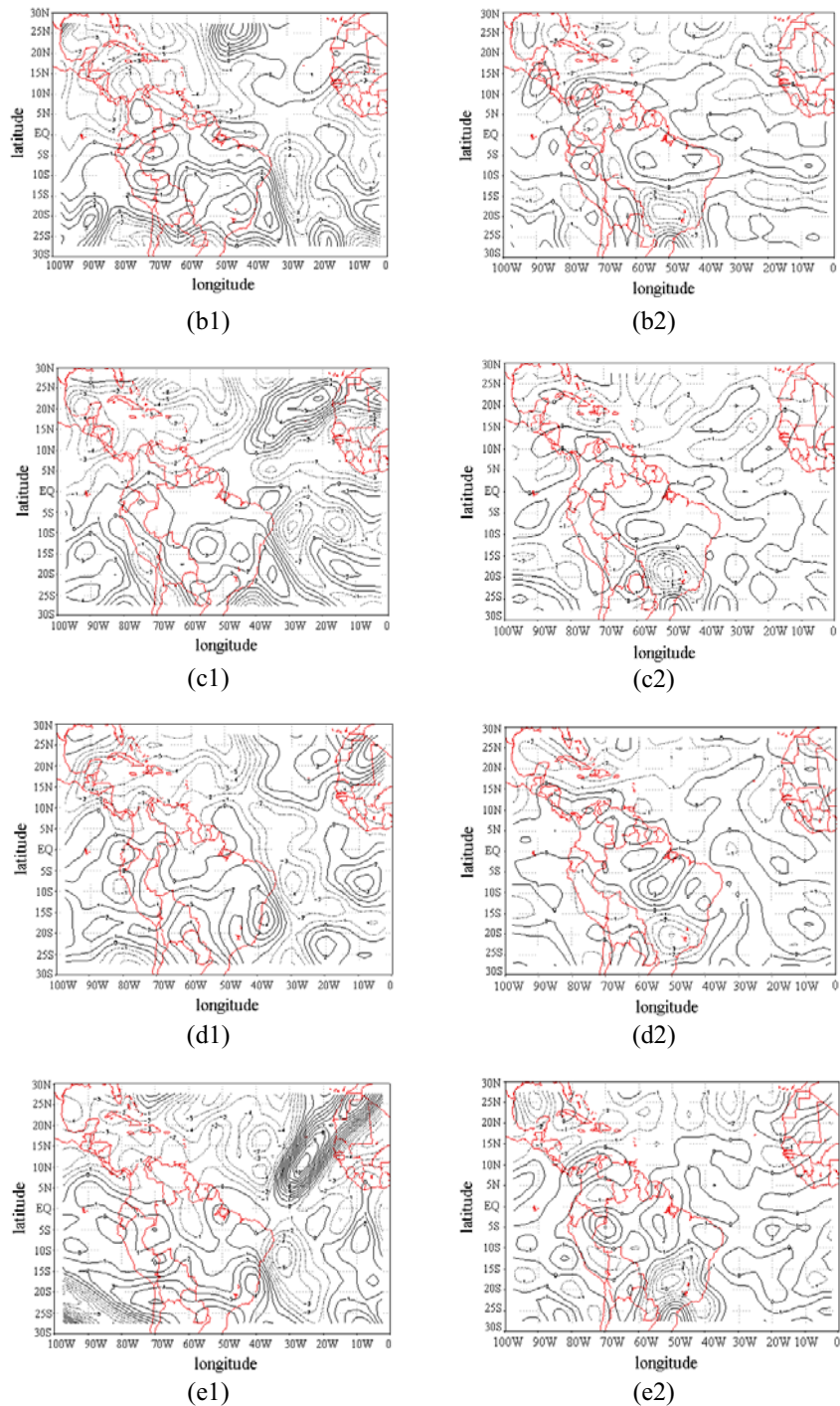


Figura 5 – continuação



3 – ADVECCÃO DE VORTICIDADE E TEMPERATURA

Em linhas gerais, notou-se a partir do dia 18 de janeiro de 1985 sobre a Região Nordeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes e sobre o sudoeste da África, nos baixos níveis, a presença de núcleos de advecção de vorticidade relativa negativa, o que concorreu para a intensificação da Zona de Convergência Intertropical e dos Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (Fig. 6). Por sua vez, nos dias 20 e 24 de janeiro de 1985, quando a nebulosidade sobre o Atlântico (Nordeste) esteve bastante intensa (Fig. 2), verificou-se que a advecção de vorticidade relativa negativa atingiu sua maior influência entre os dois hemisférios, bem como da presença de uma banda de advecção de vorticidade negativa (ciclônica) que se estendeu desde o Sudeste

do Brasil até o oeste do Nordeste, onde essa última está associada a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (Fig. 6). Semelhantemente a advecção da vorticidade notou-se que a partir do dia 18 de Janeiro ocorreu uma advecção positiva de temperatura sobre o Nordeste e áreas oceânicas adjacentes. As áreas de advecção positivas de temperatura coincidiram com as áreas de precipitação convectiva observadas na Figura 3.

Figura 6 - Advecção da vorticidade relativa em 850 hPa (painéis da esquerda, 1) e advecção da temperatura em 850 hPa (painéis da direita, 2) para os dias de 16 de janeiro (a), 18 de janeiro (b), 20 de janeiro (c), 22 de janeiro (d) e 24 de janeiro de 1985 (e). (Fonte: NCEP/CPTEC)

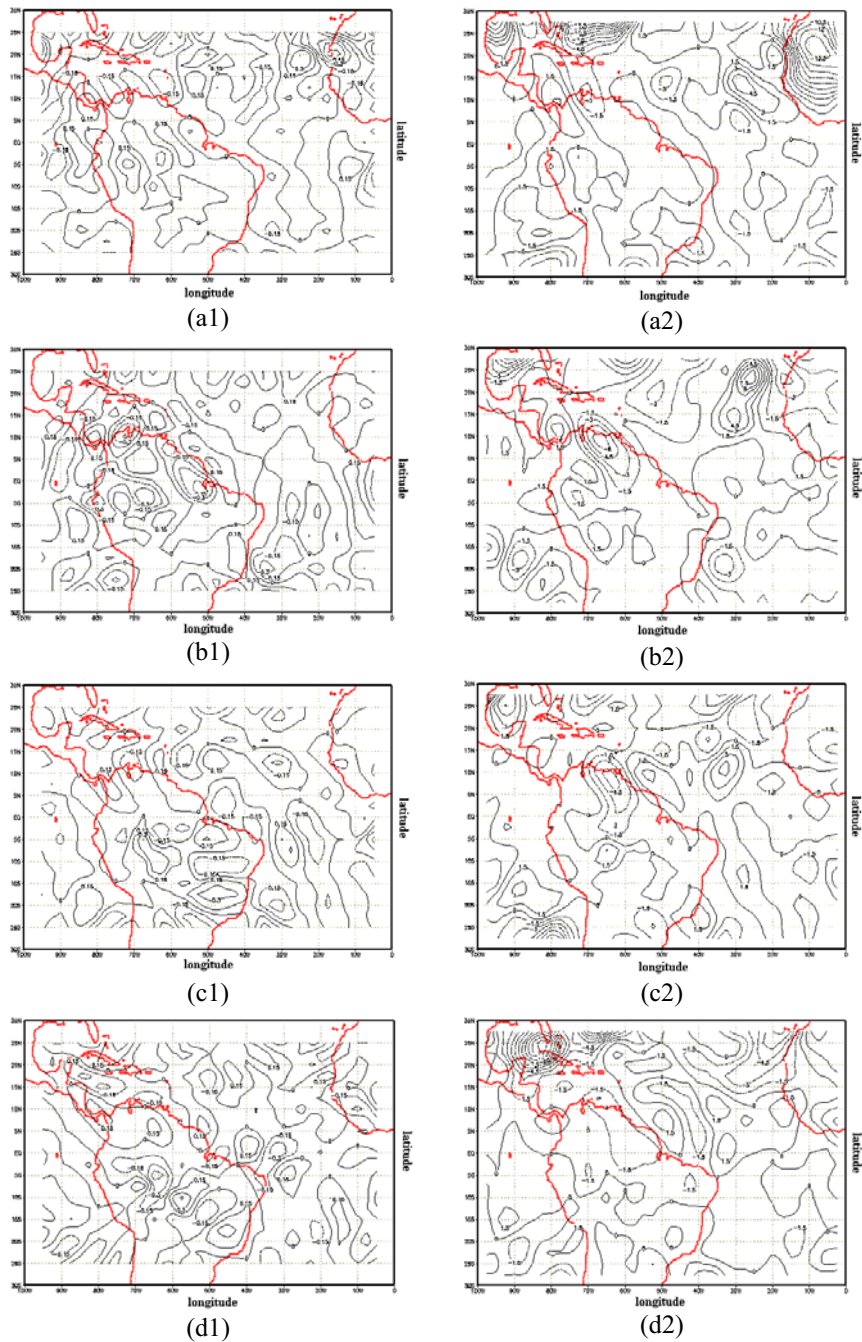
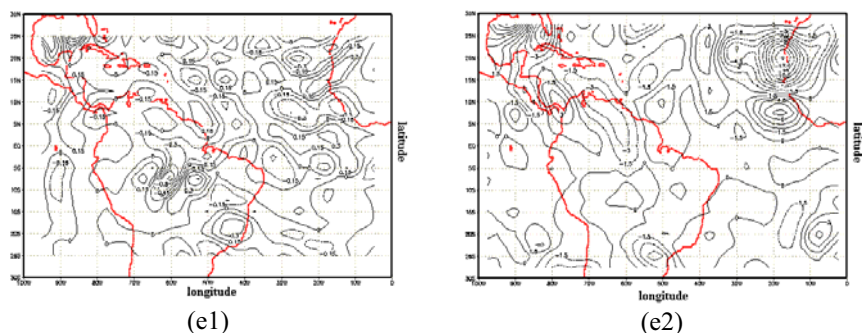


Figura 6 - continuação



4 – CONCLUSÕES

O mês de Janeiro de 1985 foi caracterizado por apresentar um total de precipitação observada bastante elevado, no qual a precipitação observada em algumas localidades do Nordeste do Brasil, no mês de janeiro de 1985, correspondeu a cerca de 30% das chuvas registradas para os seis primeiros meses daquele ano. As imagens de satélites mostraram que a nebulosidade intensa sobre o Nordeste, em alguns dos dias analisados, esteve associada a um sistema frontal boreal (cavado) localizado sobre a África e Europa, bem como de sistemas frontais austrais localizados sobre o Sudeste do Brasil. Esses sistemas frontais austrais, condicionaram à presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Entre os dias 15 e 25 de janeiro de 1985, observou-se nos campos da precipitação convectiva para os horários das 00:00 e 12:00 TMG a presença de núcleos isolados de precipitação convectiva oriundas do sudoeste da África. Esses núcleos de precipitação convectiva parecem estar associados a advecção de vorticidade relativa e da temperatura nos baixos níveis, como pode ser verificado na Figura 6. Adicionalmente, os dias de maior nebulosidade e de maior interação inter-hemisférica foi verificado nos dias 20 e 24 de Janeiro, onde células de meso escala e sistemas de grande escala estiveram mais intensos (Fig. 2 e Fig.4). Além da interação entre sistemas de larga escala, agentes externos actuaram durante o período analisado, favorecendo a manutenção e intensificação dos sistemas meteorológicos actuantes sobre o Nordeste do Brasil e áreas oceânicas adjacentes, como foi o caso da umidade do solo e da presença do dipólo do Atlântico.

5 – AGRADECIMENTOS

Agradeço ao NCEP (National Centers for Environmental Prediction), NCAR (National Centers for Atmospheric Research), ECMWF (European Centre for Medium Range and Weather Forecasts) e ao CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e estudos Climáticos/INPE) pela disponibilidade dos dados de reanálises utilizado nesse trabalho. Agradecemos ainda ao DCA (Departamento de Ciências Atmosféricas/UFPA) pelos dados dos totais de precipitação observada.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anjos B. L., 1995: **Conexões entre a Circulação do Hemisfério Norte e os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera na Região Nordeste do Brasil: Um Estudo de Caso.** *Dissertação de Mestrado em Meteorologia.* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 119 pp.
- Araújo H. A., 1996: **Padrões de Ecos de Radar Meteorológico no Semi-Árido Brasileiro e Condições Atmosféricas Associadas.** *Dissertação de Mestrado em Meteorologia.* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 130 pp.
- Correia M. F., Silva Aragão M. R., Araújo H. A., 1996: **Ecos de Radar Meteorológico no Semi-Árido Nordestino e a Penetração de um Sistema de Origem Frontal.** *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais 1.* Campos do Jordão. São Paulo. 136-138 pp.

- Damião M. C., 1999: **Um estudo das condições atmosféricas em janeiros secos e chuvosos no semi-árido do Nordeste do Brasil e sua relação com a chuva em meses posteriores na região.** *Dissertação de Mestrado em Meteorologia.* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 160 pp.
- Kalnay E., and Coauthors, 1996: **The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project.** *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.
- Reid P. A, Jones P. D., Brown O., Goodess C. M., Davies T. D., 2001: **Assessments of the reliability of NCEP circulation data and relationships with surface climate by direct comparisons with station based data.** *Clim. Res.*, **17**: 247-261.
- Silva Aração M. R., Correia M. F., Araújo H. A., 1996. **Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera no Nordeste do Brasil: Campos de Precipitação Via Radar e Condições Atmosféricas Associadas.** *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais 1.* Campos do Jordão. São Paulo. 139-143 pp.
- _____. **Characteristics of C-band Meteorological Radar Echoes at Petrolina, Northeast Brazil.** artigo aceito para publicação. *International Journal of Climatology.* 1999.