

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE INSTABILIDADE ATMOSFÉRICA ASSOCIADAS À OCORRÊNCIA DE UM SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA SOBRE A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA – CEARÁ

Emerson Mariano da Silva
emerson@uece.br

Vera Lúcia C. Silva
verasilva1@hotmail.com

Francisco Walber F. da Silva
walberferreira@ibest.com.br

Resumo

Nesse trabalho investigaram-se as condições de instabilidade atmosférica associadas à ocorrência de um Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM) na região metropolitana de Fortaleza — CE, no dia 06/04/2002. O estudo é baseado em índices (K, TT e LI), que quantificam o grau de instabilidade na atmosfera, e na Energia Potencial Disponível para Convecção — CAPE (Convective Available Potential Energy). São usados dados de radiossondagens e imagens de um radar meteorológico coletados durante o Experimento de Microfísica de Nuvens (EMfIN!), realizado na cidade de Fortaleza - CE, no período de 02 a 12 de abril de 2002. Resultados preliminares mostram que o SCM do dia 06/04/2002 produziu uma grande quantidade de precipitação na região metropolitana de Fortaleza, equivalente a da média histórica do município no mês de abril. Em adição, apresentaram-se diagramas meteorológicos (Skew T, Log P) que possibilitam identificar a presença e as condições de instabilidade associadas a esses tipos de sistemas meteorológicos.

Palavras-chave: sistema convectivo de mesoescala, instabilidade atmosférica, precipitação pluviométrica.

Abstract

This work presents atmospheric instability conditions associated to the occurrence of Meso-scale Convective System (MCS) in the metropolitan region of Fortaleza – CE, at 06/04/2002. The investigation is based in instability indexes (K, TT, LI) and Convective Available Potential Energy (CAPE). Radiosondes and Radar images were used in the investigation. The data were collected during the Experiment of Microphysics of Clouds (EMfIN!) from 02 to 12/04/2002. Preliminary results show that MCS produced a high rainfall on the metropolitan region of Fortaleza. In addition, the paper shows meteorological diagrams (Skew T, Log P) that identify the presence and conditions of instability associated to these meteorological systems.

Keywords: mesoscale convective systems, atmospheric instability, rainfall.

1. Introdução

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) são aglomerados organizados de nuvens do tipo cumulus (UVO, 1989). Estes sistemas são fenômenos meteorológicos que ocorrem em escala de dimensões da ordem de 1 Km até cerca de centenas de Km, com duração de 1 h a 1 dia. Segundo as observações de VELASCO e FRITSCH (1987), o período de maior incidência de formação de SCM, na região tropical, é de madrugada. Esses são formados pela interação entre jatos de altos e baixos níveis, com ar mais frio e seco, e ar mais quente e úmido, respectivamente. Os SCMs provocam instabilidade térmica que leva à convecção intensa, e com isso estão associados a elevados índices de precipitação na região onde atuam.

Na porção Norte do Nordeste do Brasil (onde está inserido a região metropolitana de Fortaleza-CE) a ocorrência dos SCMs se dá com maior frequência nos meses de março e abril. Segundo HASTENRATH e HELLER (1977) e SOUZA et al. (2000) esses meses são os de maior concentração das chuvas dentro da quadra chuvosa (fevereiro a maio) nessa região. Com isso, verifica-se que os SCMs são fenômenos meteorológicos de fundamental importância para o total anual da precipitação pluviométrica observada na região.

Portanto, a investigação e a compreensão dos mecanismos termodinâmicos associados à ocorrência desses fenômenos meteorológicos são de grande valia, tanto para quantificar o total da precipitação observada, quanto para a previsão do tempo de curtíssimo prazo, que visa identificar a possibilidade do desenvolvimento de atividades convectivas intensas na atmosfera, num curto período de tempo e, conseqüentemente a formação de tempestades com elevado índice de precipitação sobre uma região.

Desta forma, o foco científico deste trabalho é investigar e avaliar as condições de instabilidade atmosférica e os índices de precipitação associadas à ocorrência de um SCM na região metropolitana de Fortaleza - CE, no dia 06/04/2002. O estudo é baseado em índices de estabilidade atmosférica que quantificam o grau de instabilidade na atmosfera, e na Energia Potencial Disponível para Convecção – CAPE (Convective Available Potencial Energy).

2. Materiais e métodos

Os dados utilizados neste estudo foram coletados durante o Experimento de Microfísica de Nuvens (EMfin!), realizado na cidade de Fortaleza— CE, no período de 02 a 12 de abril de 2002 (COSTA et al., 2002). Para identificação do SCM são usadas imagens (varreduras horizontais com raio de 120 km) geradas por um radar meteorológico banda X (Figura 1), situado no Departamento de Física, Campus do Itaperi – Universidade Estadual do Ceará (UECE) (Parceria entre Universidade Estadual do Ceará e Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME). Em adição, para o computo dos índices de instabilidade atmosférica e do CAPE são utilizados dados de pressão atmosférica, de temperatura e umidade relativa do ar, e de velocidade e direção do vento em vários níveis na atmosfera. Esses dados foram coletados em uma estação de radiossondagens (Figura 2) cedida pelo Centro Técnico Aeroespacial – CTA (Aeronáutica). Já os índices de precipitação observados utilizados foram obtidos através da rede de pluviômetros da FUNCEME.



Figura 1: Torre do radar meteorológico banda x (UECE/FUNCEME).



Figura 2: Estação de radiossondagem Vaisala (à esquerda), radiossonda (centro) e balão piloto (à direita).

2.1 Índices de instabilidade utilizados

Os índices de estabilidade indicam o estado da atmosfera e sua vulnerabilidade às perturbações termodinâmicas no plano vertical. Eles mostram o quanto a atmosfera está instável, indicando a possibilidade de ocorrência de tempestade (BITENCOURT, 1998). Os índices utilizados neste estudo são os índices, Total-Totals, K e o Índice de Levantamento (LI).

2.1.1 Índice total – Totals (TT)

O índice Total-Totals (TT) é dado pela soma de outros dois índices convectivos, o Vertical Totals e o Cross Totals.

$$TT = CT + VT \quad (1)$$

Onde: VT significa total vertical e expressa o lapse rate entre duas superfícies (850 e 500 hPa), é definido como a diferença entre as temperaturas do bulbo seco em 850 e 500 hPa. CT significa total transversal e expressa a combinação do teor de umidade nos baixos níveis com as temperaturas superiores, é definido como a diferença entre a temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa e a temperatura do bulbo seco em 500 hPa. Portanto:

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (2)$$

$$CT = T_{d850} - T_{500} \quad (3)$$

Daí, substituindo (2) e (3) em (1) tem-se que:

$$TT = T_{850} + T_{d850} - 2 \times T_{500} \quad (4)$$

Se $TT \geq 50$ a atmosfera está instável e quanto maior for TT, mais instável será o ar.

2.1.2 Índice K

O índice K é uma medida do potencial de tempestades baseado na taxa vertical de variação de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida. A estimativa do lapse rate é dada pela diferença entre as temperaturas em 850 e 500hPa e o conteúdo de umidade é avaliado pela temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa. A extensão vertical é dada pela depressão da temperatura do ponto de orvalho em 700hPa. Daí,

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - D_{d700} \quad (5)$$

A inclusão da depressão do ponto de orvalho em 700hPa melhora a estimativa no caso de convecção rasa. Este índice é muito usado para avaliar chuvas fortes, pois a presença de camadas úmidas em 850 e 700hPa implica em bastante água precipitável.

Quanto mais positivo este índice, maior será a chance de tempestades. Os valores de K variam conforme a estação do ano e localizações. Em geral um valor crítico para esse índice no Brasil é de aproximadamente 30°C e quanto maior o valor de K maior a instabilidade.

2.1.3 Índice de levantamento (LI)

O Índice de Levantamento associa à parcela de ar a umidade média dos primeiros 100 hPa e a temperatura média também dos primeiros 100 hPa adicionados de 2°C. Desta forma, o índice é definido como a temperatura em 500 hPa menos a temperatura da parcela e quanto mais negativo for mais instável será a parcela de ar.

2.2 Energia potencial disponível para convecção (CAPE)

Segundo SILVA (2001) o CAPE pode ser escrita na forma:

$$CAPE = g \int_{NCE}^{NPE} \left(\frac{T_{vc} - \bar{T}_v}{\bar{T}_v} \right) dz \quad (6)$$

Onde: NCE é o nível de condensação espontânea e NPE é o nível de perda de empuxo para convecção rasa. T_{vc} , é a temperatura da nuvem para um processo no qual há entranhamento. Na formulação do CAPE, está implícita a contribuição do trabalho convectivo realizado por correntes descendentes e por convecção não-saturada (RENNÓ e INGERSOLL, 1996).

3. Resultados e discussões

A Figura 3 mostra a identificação do SCM no dia 06/04/2002, na região metropolitana de Fortaleza – CE, através de uma seqüência de imagens (varredura horizontal) de radar meteorológico. Observa-se que, o SCM atingiu o continente, vindo do Oceano, nas primeiras horas da manhã, indicando que se formou na madrugada assim como citado por VELASCO e FRITSCH (1987), e perdeu por todo o dia. Isto também pode ser observado na Figura 4, que mostra uma seqüência de imagens de satélite meteorológico (GOES-8), no canal infravermelho, nos horários de 06:00, 09:00, 12:00 e 15:00 hora local.

Em adição, verifica-se que a instabilidade atmosférica associada ao SCM provocou o desenvolvimento de nuvens rasas, área com níveis de 15 a 27 dBZ, e precipitantes, áreas variando de 37 a 55 dBZ (ver imagem das 10:08 h). Vale ressaltar que o nível de 55 dBZ está associado a convecção profundo, com alta taxa de precipitação.

Nas imagens das 13:33 e 15:30 h, vê-se a formação de nuvens rasas e profundas na parte Sul do Estado, onde conclui-se que o SCM instabilizou a atmosfera, causou o desenvolvimento de nuvens e conseqüentemente de precipitação na região onde encontram-se os municípios de Beberibe, Ocara e Russas, e etc.

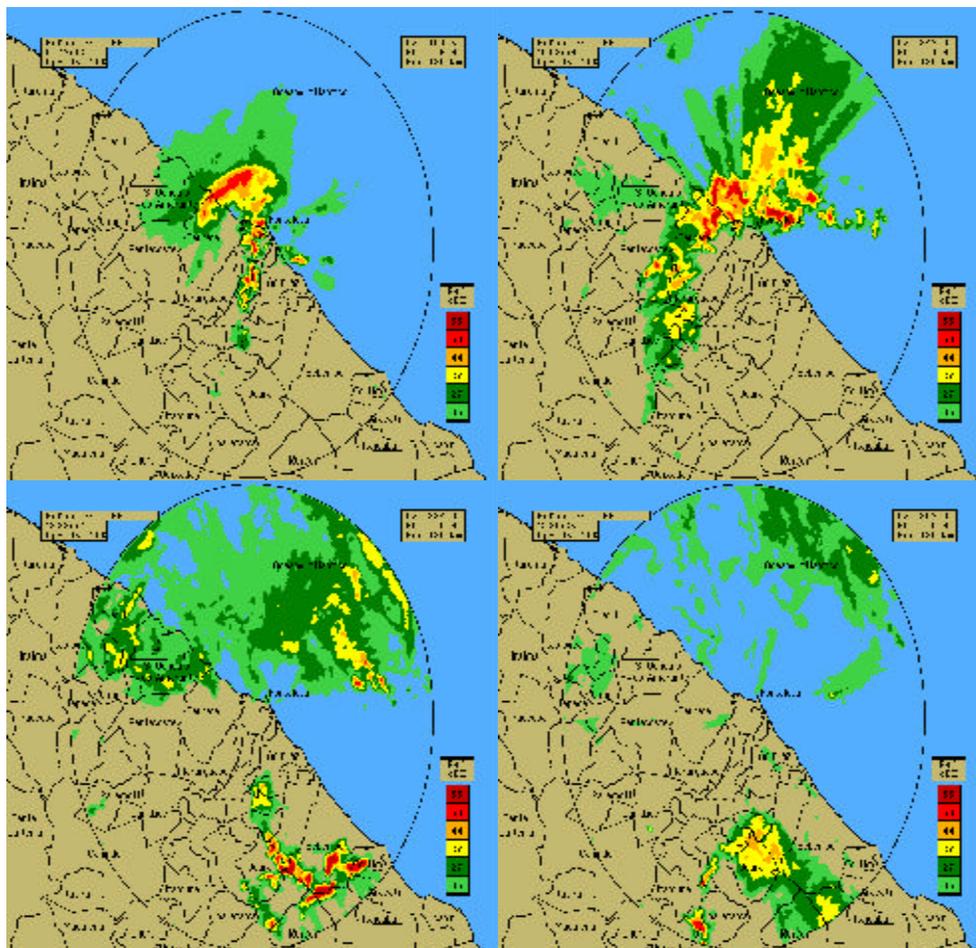


Figura 3: Imagens do radar meteorológico banda X (UECE/FUNCEME) no dia 06/04/2002, às 07:19 h, 10:08 h, 13:33 h e 15:30 h, respectivamente. A escala ao lado indica que a cor verde representa nuvens rasas e o vermelho representa nuvens com grande quantidade de água líquida.

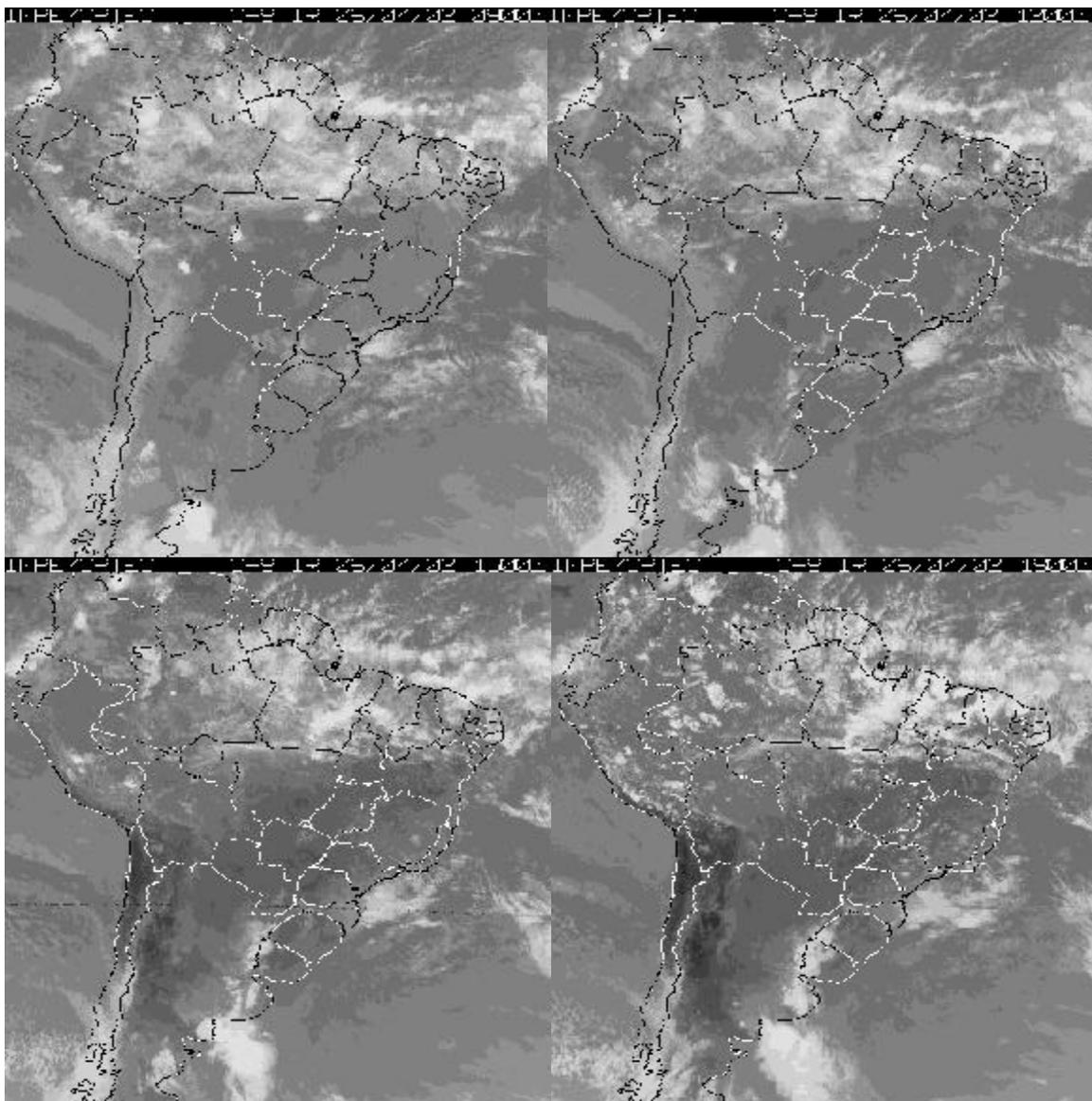


Figura 4: Imagens do Satélite Meteorológico Goes – 8, no canal infravermelho, no dia 06/04/2022 as 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00Z (Tempo Médio de Greenwich), que representa 06:00, 09:00, 12:00 e 15:00 h (hora local). A parte em destaque (pontilhado) mostra a cobertura de nuvens associada a ocorrência do SCM.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam diagramas meteorológicos (Skew T, Log P) que representam os dados observados pelas sondagens atmosféricas (nos horários de 07:17, 10:08, 13:33 e 15:29 h) realizadas no dia 06/04/2022 próximo a Torre do radar meteorológico (UECE). Esses dados também foram utilizados para o computo dos índices de instabilidade atmosférica e do CAPE (mostrados no quadro ao lado de cada diagrama).

Observa-se na Figura 5 que o valor do índice K é 40, e o índice LI tem valor -2, o que indica instabilidade atmosférica próximo a superfície, da onde se conclui que a presença do SCM nessa região, instabilizou a atmosfera próximo a superfície, causando movimentos ascendentes e com isso a formação de nuvens. Concordando com o visto na imagem de radar do mesmo horário.

O índice TT para este horário vale 45, indicando uma ligeira estabilidade na camada entre 850 a 500 hPa, já que este índice acima de 50 indica instabilidade. O e o CAPE assume valores acima de 305 Joules que representa grande quantidade de energia disponível para convecção (SILVA, 2001).

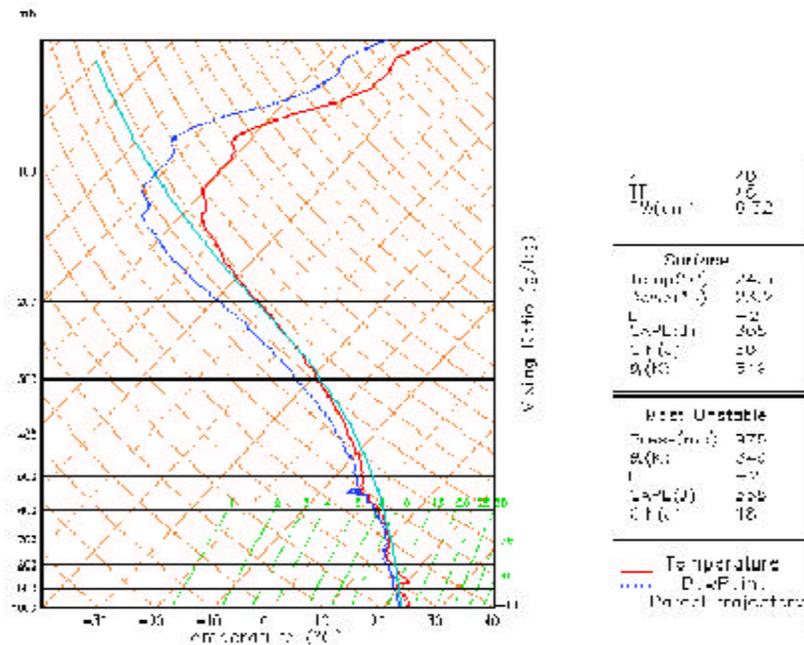


Figura 5: Diagrama meteorológicos (Skew T, Log P) no horário de 07:17, realizada no dia 06/04/2002 próximo a Torre do radar meteorológico (UECE).

Na Figura 6 tem-se que os índices K, TT e LI assumem os valores de 34, 43 e -1, respectivamente, e o CAPE é igual a 154 Joules. Indicando que a atmosfera consumiu parte da energia disponível na formação de convecção, em seguida, precipitação, e logo após ficou ligeiramente instável, o que propicia a formação de nuvens do tipo cumulus rasos (SILVA, 2001).

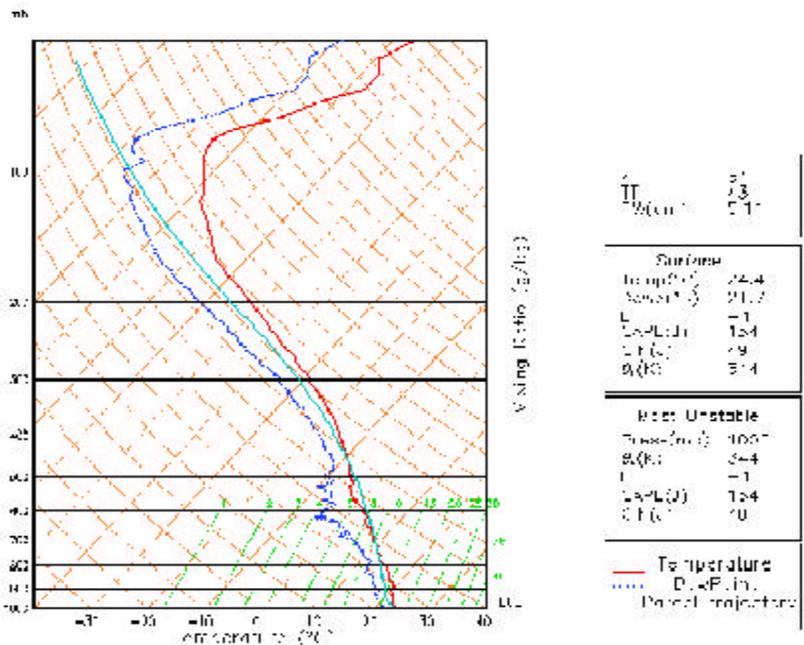


Figura 6: Diagrama meteorológico (Skew T, Log P) no horário de 10:08, realizada no dia 06/04/2002 próximo a Torre do radar meteorológico (UECE).

A Figura 7 mostra que apesar da energia disponível para convecção ter aumentado (CAPE variou de 154 para 259), a atmosfera continuou ligeiramente instável ($K = 28$, $TT = 43$ e $LI = -1$).

Na Figura 8, observa-se que, os valores de K , TT e LI , vale 31, 43 e zero, respectivamente, da onde se conclui que a atmosfera esta ligeiramente instável próximo a superfície, e neutra na camada de 850 a 500 hPa, com pouca energia disponível para convecção (CAPE = 22 J). Desta forma, não se tem a formação de nuvens na região em estudo, o que concorda com a imagem de Radar obtida neste mesmo horário.

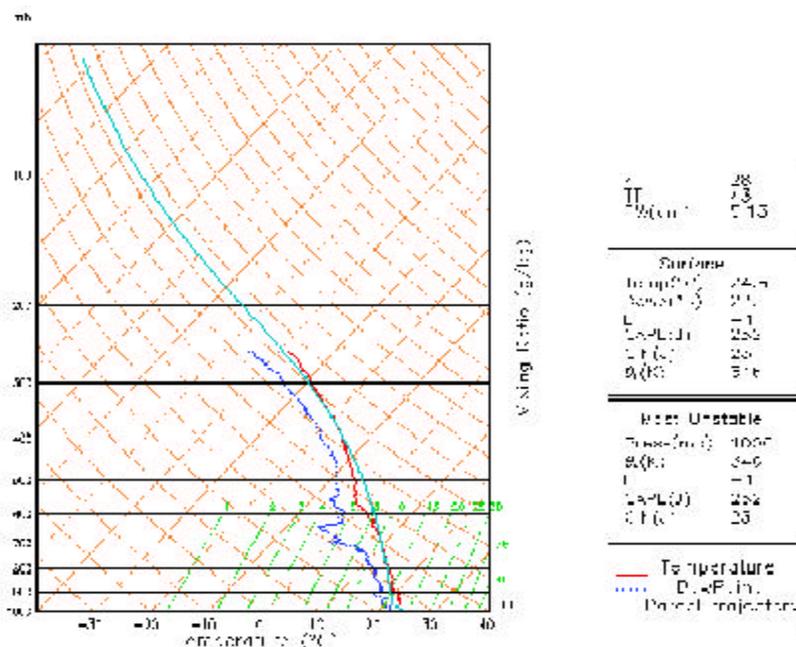


Figura 7: Diagramas meteorológicos (Skew T, Log P) no horário de 13:33 h, realizada no dia 06/04/2002 próximo a Torre do radar meteorológico (UECE).

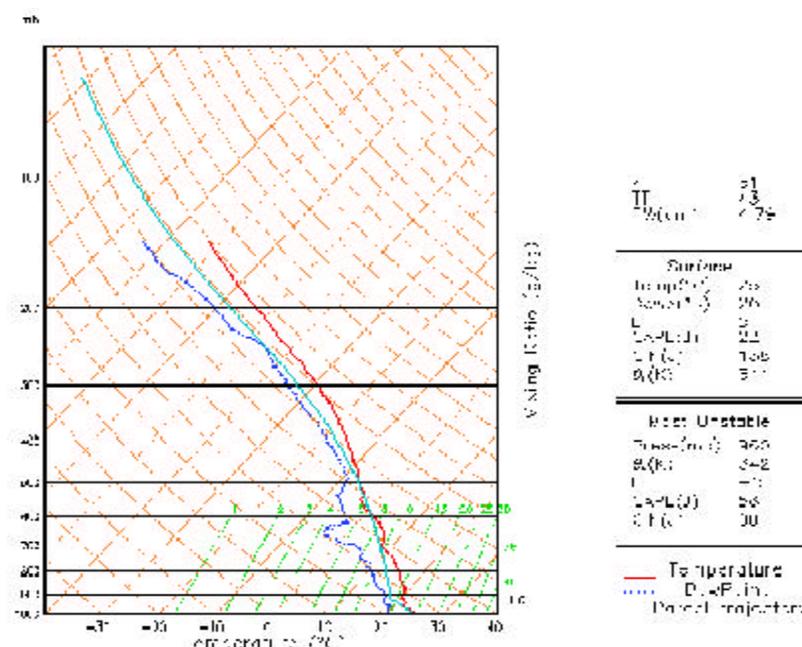


Figura 8: Diagrama meteorológico (Skew T, Log P) no horário de 15:29 h, realizada no dia 06/04/2002 próximo a Torre do Radar Meteorológico (UECE).

4. Conclusões

Neste trabalho investigaram-se as condições de instabilidade atmosféricas associadas à presença de um Sistema Convectivo de Mesoescala ocorrido na região Metropolitana de Fortaleza – CE, no dia 06/04/2002.

Os resultados mostram a presença de um sistema convectivo de mesoescala (SCM), que adentrou o continente, vindo do Oceano, nas primeiras horas da manhã e instabilizou a atmosfera em volta da região em estudo provocando o desenvolvimento de convecção rasa e profunda, e conseqüentemente de chuvas, aproximadamente 15% da média histórica do mês de abril para essa região, durante quase todo o período diurno, na região em estudo.

Desta forma, verifica-se que as ferramentas utilizadas para a identificação e avaliação da instabilidade atmosférica associada a esses sistemas meteorológicos (imagens de radar meteorológico, diagramas meteorológicos) são de fundamental importância em uma rotina operacional de previsão de tempo, e de previsão de curtíssimo prazo, onde o meteorologista poderá identificar áreas de grande atividade convectiva, e conseqüente de precipitação intensa, e emitir boletins de alerta para os tomadores de decisão. Sendo assim, a operacionalização destas ferramentas junto aos centros de meteorologia será a recomendação deixada pelos autores deste.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os participantes do Experimento de Microfísica de Nuvens (EMfIN!), e as instituições parceiras (UECE – FUNCEME – CTA) pela concessão dos dados utilizados nesse estudo.

Referências

- BITENCOURT, D. P. Notas de aulas: mini-curso de previsão e monitoramento de tempo. 65 p. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. *Anais...* Brasília, DF, 1998.
- COSTA, J. et al. Notas sobre o Emfin! In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu, PR 2002. *Anais...* Foz de Iguaçu, PR, 2002. p. 1344-1348.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, London, v. 103, p. 77-92. July 1977. ISSN: 0035-9009.
- SILVA, E. M. *Impactos da implementação da parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala*. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 2001.
- SOUZA, E. P.; RENNÓ, N. O; SILVA DIAS, M. A. F. Convective circulations induced by surface heterogeneities. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Boston, v. 57, n. 16. p. 2915-2922, Jan. 2000. ISSN: 0022-4928.
- UVO, C. R. B. *A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste Brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP, 1989.
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, Washington, DC, v. 92, D8, p. 9591-9613, Mar. 1987. ISSN: 1520-0477.

SOBRE OS AUTORES

Emerson Mariano da Silva

Mestre em Meteorologia, formado pela Universidade Federal da Paraíba, *Campus* de Campina Grande, hoje, Universidade Federal de Campina Grande. Aluno do Curso de Doutorado em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará e Professor do Curso de Física da Universidade Estadual do Ceará.

Vera Lúcia Cunha Silva

Aluna do Curso de Graduação em Física da Universidade Estadual do Ceará – UECE.

Francisco Walber Ferreira da Silva

Aluno do Curso de Graduação em Física da Universidade Estadual do Ceará – UECE.