

Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe

Desenvolvimento dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro em 2017

Matheus José Arruda Lyra¹, Ismael Guidson Farias de Freitas ²

¹ Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, matheuslyraa@gmail.com.

² Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, ismael.guidson@gmail.com.

Artigo recebido em 26/06/2019 e aceito em 20/12/2019

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) na região Nordeste do Brasil (NEB) durante o ano de 2017 através de condições termodinâmicas. A análise e identificação dos casos de CCM foi feita por meio das imagens do satélite GOES 13, no canal Infravermelho, disponíveis pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). A trajetória da parcela de ar que originou o CCM foi calculada pelo modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajector). Perfis verticais simulados da atmosfera foram plotados para a análise termodinâmica por meio do software OpenGrADs com dados de reanálise II global fornecidos pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Dados METAR do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) foram utilizados para a identificação das trovoadas. Os registros de precipitação foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ao todo foram identificados 6 CCM sobre o território do NEB que ocorreram durante o verão. Estes foram associados à convecção provocada da ZCIT, que se posicionava mais ao sul. O pico de formação dos CCM variou entre 19 e 05 UTC, e sua área de extensão máxima ocorreu, majoritariamente, durante a madrugada. Em geral os CCM se desenvolveram com maior intensidade nos locais onde houve maior registro de convergência do fluxo de umidade, favorecendo o aumento da energia convectiva. As precipitações consequentes foram de aproximadamente 70mm/24h, havendo registro de até 145mm/24h. A análise dos índices de instabilidade mostrou que o CAPE apresentou valores acima de 1200 J·Kg-1 e o LI entre -3 e -7, indicando uma atmosfera com possibilidade de trovoadas, o que ocorreu em 83,3% dos casos.

Palavras Chaves: Previsão do tempo, Precipitação, Mesoescala.

Mesoscale Convective Complexes development over Northeastern Brazil in 2017

ABSTRACT

This main objective of this study was to analyze the different development processes of Mesoscale Convective Complexes (MCC) in the Brazilian Northeast region (BNE) during 2017. GOES-13 satellite images in the Infrared channel have been used for MCC analysis and identification. It was available from the Weather Forecasting and Climate Studies Center (CPTEC/INPE). Air parcel trajectories that originated the MCC were calculated by the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajector (HYSPLIT) model. Temperature and humidity vertical simulated profiles were plotted for thermodynamic analysis using OpenGrADs software with global reanalysis II data provided by the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Thunderstorms were identified from METAR data from Department of Airspace Control (DECEA). Precipitation data records were obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). Six MCC were identified over BNE that occurred during the summer season. They were associated with the Intertropical Convergence Zone convection, which was located further south, near 4°S. The peak of MCC generation ranged from 19 to 05 UTC, and its maximum extension area occurred mostly during the early hours. MCC developed in higher intensity moisture flow convergence areas, supporting the increasing of convective energy. Average precipitation was approximately 70mm/24h, with the highest value up to 145mm/24h. The instability indexes analisys presented CAPE values above 1200 J·Kg-1 and LI between -3 and -7, indicating high frequency of thunderstorm, which occurred in 83.3% of the cases.

Keywords: Weather forecast, Precipitation, Mesoscale.

Introdução

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são sistemas caracterizados como um conjunto de nuvens Cumulonimbus (Cb) espessas e frias, em formato aproximadamente circular e com crescimento vertical em um intervalo de tempo entre 6 a 12 horas (Maddox, 1980; Silva Dias, 1987). Seu ciclo de vida começa poucas horas depois da formação de células convectivas ocorrentes no final da tarde ou começo da noite, sua máxima extensão ocorre durante a madrugada e o sistema persiste até a manhã (Velasco e Fritsch, 1987).

De acordo com Blamey e Reason (2012), elevadas temperaturas de superfície do mar junto com a presença de montanhas próximas a costa favorecem a formação destes eventos. Na região Nordeste do Brasil (NEB), existem vários sistemas que provocam precipitação convectiva e que são associados à formação dos CCM (Silva et al., 2011).

As primeiras análises desses sistemas na região Nordeste foram feitas por Gomes Filho (1996), posteriormente por Fedorova et al. (2008) através do estudo do desenvolvimento destes sistemas através das trajetórias das parcelas de ar geradas a partir do modelo HYSPLIT. Fedorova et al. (2009) realizaram estudos termodinâmicos através da análise dos índices de instabilidade. Lyra et al. (2018) realizaram a análise termodinâmica dos CCM através de uma adaptação do método empregado por Brito et al. (2011) para analisar o comportamento de trovoadas no estado de Alagoas através de perfis verticais no diagrama SKEW-T.

O estudo sobre estes sistemas desperta bastante interesse por dois motivos distintos, devido as consequências provocadas pelos diversos fenômenos adversos associados aos CCM, como trovoadas. precipitações intensas e Estes fenômenos acarretam alagamentos, enchentes, deslizamentos de terra e, consequentemente, causam grandes perdas econômicas e sociais. Por outro lado, a convecção provocada pelos CCM pode acarretar grandes chuvas em épocas de grande estiagem, sendo crucial para a população de setores como o sertão nordestino.

Dentro deste contexto, o principal objetivo do presente estudo consiste em analisar as condições termodinâmicas durante a formação dos CCM na região Nordeste do Brasil durante o ano de 2017, bem como verificar a presença de fenômenos adversos associados a estes sistemas.

Material e métodos

Área de estudo e aquisição de dados

Para a análise dos CCM que ocorreram no NEB durante o ano de 2017 foi estabelecida uma área de estudo que compreende as latitudes 0° e 15° Sul e longitudes 30° a 45° Oeste.

A análise e identificação dos CCM foi feita por meio das imagens do satélite GOES 13 (Geostationary **Operational Environmental** Satellites) no canal Infravermelho (IR) consultadas no banco de dados imagens no portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Os critérios utilizados por Maddox (1980) na identificação destes sistemas foram baseados em características físicas obtidas com técnicas de realce em imagens de satélite no canal infravermelho, levando em consideração o tamanho e a duração do sistema. O sistema deve apresentar uma região com temperaturas menores iguais a -32°C com uma área aproximadamente 100.000km², um núcleo frio com temperatura menor ou igual a -52°C e uma área de aproximadamente 50.000km² e duração de no mínimo 6 horas.

Para investigar a fonte de umidade associada aos CCM foram empregados dados de reanálise global ERA-Interim fornecidos pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Dee et al., 2011), utilizando uma resolução de 0,75° de latitude por 0,75° de longitude e disponibilizados nos horários sinóticos (00, 06, 12 e 18UTC). Com o auxílio do software Open Grid and Analysis Display System (OpenGrADS) foi calculado o transporte de umidade integrado na vertical (Kg/m.s).

Foram utilizados Perfis verticais simulados (Ps) da atmosfera, que se estendem por 10 níveis de pressão (1000, 950, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 e 300hPa), elaborados no ponto de grade de coordenadas iniciais onde encontrava-se o núcleo do CCM no seu estágio de desenvolvimento máximo. Estes perfis foram plotados por meio do software OpenGrADs em conjunto com os dados de reanálise II global fornecidos pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e National Center for Atmospheric Research (NCAR), com resolução de 2,5° de latitude por 2,5°

de longitude. A utilização de outro dado de reanálise foi necessária devido a melhor representatividade por parte dos perfis plotados com dados do NCEP/NCAR, conforme descrito por Cavalcante et al. (2015).

Para avaliar a capacidade potencial da atmosfera durante o desenvolvimento dos sistemas, foram analisados o CAPE e o índice de instabilidade Lifted (LI) (Alcântara, 1969). Estudos anteriores avaliaram a eficiência dos índices de instabilidade para estimar a intensidade de CCM e trovoadas no NEB (Brito et al, 2011; Cavalcante et al., 2015; Lyra et al., 2018).

O Convective Available Potential Energy (CAPE) é representado pelo espaço em um diagrama skew-T, delimitado pela temperatura ambiente e pelo perfil úmido adiabático, correndo a partir do nível de condensação convectiva (NCC). Essa área, representada nesse diagrama, indica a quantidade de energia disponível. A CAPE é medida em unidades de joules por quilograma (J/kg). A Tabela 1 apresenta os valores limites de CAPE, usados como parâmetro para determinar a instabilidade atmosférica.

Tabela 1. Avaliação da instabilidade atmosférica pelo CAPE.

Valor do CAPE	Estabilidade
<0	Estável
0-1000	Pouco instável
1000-2500	Instabilidade moderada
>2500	Forte instabilidade

O Índice Lifted (LI) criado por Galway (1956) consiste em uma modificação do índice Showlater. Nele a parcela de ar é levantada, a partir da superfície (1000hPa), até o nível de 500hPa. O valor deste índice representa a temperatura do ambiente subtraída da temperatura da parcela,

ambos no nível de 500hPa. Também pode ser associado a largura do CAPE no nível de 500ha. A Tabela 2 apresenta os parâmetros usados para determinar potencial de ocorrência de atividade convectiva através do índice LI desenvolvidos pelo National Weather Service.

Tabela 2. Potencial de ocorrência de atividade convectiva pelo LI.

Índice LI	Potencial de ocorrência de atividade convectiva
LI > 2	Sem atividade convectiva significante
0 < LI < 2	Possibilidade de ocorrência de convecção rasa
-2 < LI < 0	Possibilidade de ocorrência de convecção profunda
-4 < LI < -2	Possibilidade de chuvas e trovoadas (pouco severas)
LI < -4	Possibilidade de chuvas com trovoadas severas

O modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajector) foi utilizado para calcular as trajetórias das parcelas de ar, com 48h de antecedência de cada CCM. O ponto final da trajetória, no plano horizontal, é determinado pela latitude e longitude do local para qual é feito a previsão do sistema. Desta forma, é possível observar todo o percurso que a parcela de ar percorreu até a coordenada de origem do CCM.

O modelo HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajector) foi utilizado para calcular as trajetórias das parcelas de ar, com 48h de antecedência de cada CCM. O ponto final da trajetória, no plano horizontal, é determinado pela latitude e longitude do local para qual é feito a previsão do sistema. Desta forma, é possível observar todo o percurso que a parcela de ar percorreu até a coordenada de origem do CCM.

Tabela 3. Datas dos casos de CCM e a localização das estações meteorológicas utilizadas para verificar os

acumulados pluviométricos diário.

Casos	Cidade (estação)	Estação (Código OMM)	Latitude	Longitude
14/01/2017	Barra do Corda – MA	82571	- 5° 30' 24.4"	- 45°14' 13"
24/01/2017	Colinas - MA	82676	- 6° 01' 59.4"	- 44° 14' 0"
16/02/2017	São Luís - MA	82280	- 2° 31' 36.3"	- 44° 12'48"
18/02/2017	Morada Nova - CE	82588	- 5° 8' 12.08"	- 38° 21'23"
09/03/2017	Fortaleza - CE	82397	- 3° 48' 56.5"	- 38° 32'16"
22/03/2017	Iguatu - CE	82686	- 6° 23' 46.9"	- 39° 16' 8"

Resultados e discussão

Foram identificados 06 CCMs sobre a região Nordeste do Brasil de acordo com a análise das imagens do satélite GOES 13 no ano de 2017. Todos os CCM identificados se desenvolveram exclusivamente sobre o continente, conforme Lyra et al. (2017) destacou a baixa ocorrência oceânica na região. Em relação a anos anteriores, houve registro abaixo da média da região, esta que segundo Lyra et al. (2017) é de aproximadamente 7 casos por ano. A maior frequência ocorreu no ano de 2008 (12 eventos) e a menor em 2011 (4 eventos), conforme a análise de Lyra (2019). Os CCM se formaram majoritariamente no setor Norte da região, principalmente entre os estados do Maranhão e Piauí.

Os perfis verticais simulados (Figura 1) foram plotados para as coordenadas do núcleo dos CCM no estágio de desenvolvimento máximo. A utilização de dados de radiossondagem tornou-se inviável devido à falta de dados nas regiões próximas à ocorrência do CCM, o que impossibilitou a realização da comparação com os perfis reais para uma análise de qualidade. Todos

estes perfis apresentaram umidade na baixa troposfera e, nos médios e altos níveis, apresentaram camadas caracterizadas como condicionalmente instável. Estas características criam condições favoráveis a formação de convecção profunda (Fedorova, 1999).

Os índices de instabilidade dos perfis simulados de todos os 06 casos analisados (Tabela 4) apresentaram elevado valor de CAPE, todos com valor superior a 1000 J·Kg⁻¹ que indica um potencial de convecção moderada à forte. O CCM do dia 23/02/2017 chegou a atingir o valor de 1935 J·Kg⁻¹ durante seu desenvolvimento máximo. Já o Índice de Levantamento (LI) apresentou variação entre -3 e -5, que caracteriza forte instabilidade, bem como potencial convectivo severo. O evento citado acima também se destacou por apresentar valor de LI -7. Resultados semelhantes nesta região foram observados por Levit et al. (2006) e Lyra et al. (2018).

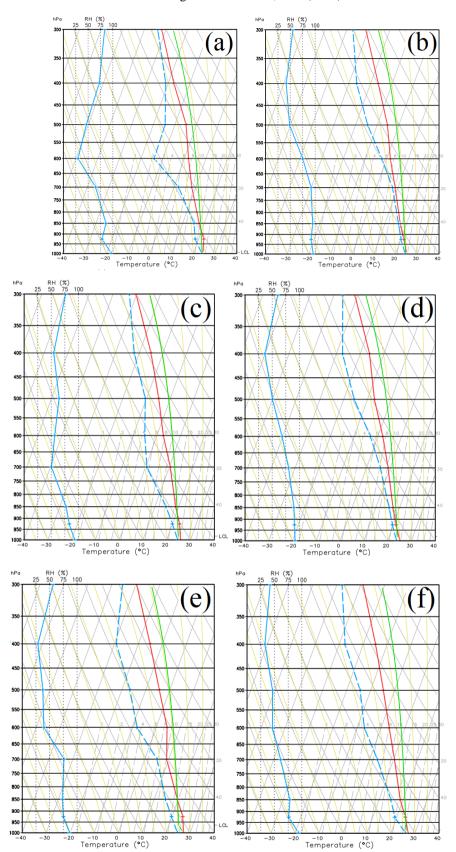


Figura 1: Perfis verticais simulados plotados através dos dados de reanálise para os dias (a) 14/01/2017, (b) 24/01/2017, (c) 16/02/2017, (d) 18/02/2017, (e) 09/03/2017, (f) 22/03/2017.

Tabela 4. Valore	s dos índices d	e instabilidade do	s perfis verticais	s simulados.
i abcia +. Vaibic	s aos maices a	e mstaomuade do	s perms veruean	s simulados.

	Índices de instabilidade		
Datas	CAPE+ (JKg-1)	LI	
14/01/2017	1259	-3	
24/01/2017	1469	-4	
16/02/2017	1280	-4	
18/02/2017	1239	-5	
09/03/2017	1400	-5	
22/03/2017	1935	-7	

Em geral os CCM se desenvolveram entre as latitudes 7° e 4°S, principalmente entre os estados do Maranhão, Piauí, e Rio Grande do Norte. O fluxo de umidade para os casos desenvolvidos próximos à região costeira foi superior aos demais, chegando a apresentar entre 0.3 e 0.6 kg/m·s·10⁻³ (Figura 2d e 2f). Enquanto isso, os CCM centrais não apresentaram a mesma fonte de umidade para o desenvolvimento.

Somente os casos dos dias 24/01/2017 (Figura 2b) e 09/03/2017 (Figura 2e), onde registrou-se cerca de 0.9 kg/m·s·10⁻³ e 0.3 kg/m·s·10⁻³, respectivamente, nas regiões onde estavam situados seus núcleos. Os outros dois casos formados na divisa entre Maranhão e Piauí (Figura 2a e 2c) não dispuseram de um valor elevado de umidade quanto os supracitados.

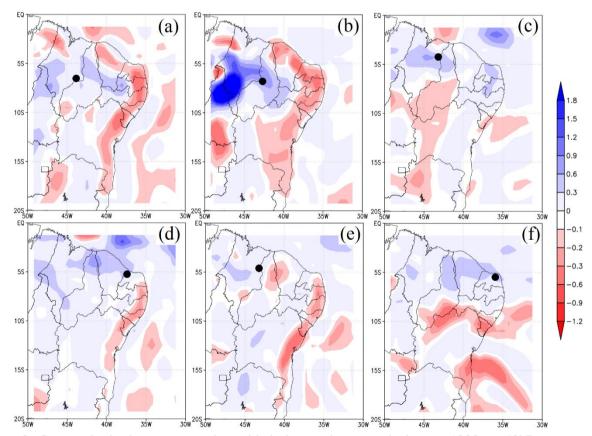


Figura 2: Convergência do transporte de umidade integrado na vertical entre 1000 e 650hPa para os dias 14/01/2017 às 06UTC (a); 24/01/2017 às 00UTC (b) 16/02/2017 às 18UTC (c); 18/02/2017 às 00UTC (d); 09/03/2017 às 00UTC (e); 22/03/2017 às 18UTC (f).

Os valores máximos pluviométricos (Tabela 5) foram adquiridos com o objetivo de apresentar os danos causados pelas fortes chuvas

associadas a estes sistemas. Os dados referentes à precipitação nos dias de ocorrência dos CCM foram obtidos de estações que se localizaram sobre

o percurso dos sistemas. Em média os eventos apresentaram cerca de 70mm de precipitação acumulada em 24h. Segundo Lyra et al. (2018), os maiores valores pluviométricos estão relacionados com os CCM desenvolvidos através da influência do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e em outros com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O volume foi bastante elevado em todos os casos, e o maior valor registrado ocorreu no dia 18/02/2017 com 146mm no município de Morada Nova, no Ceará.

Os valores pluviométricos registrados pela rede de precipitações consultadas, foram equiparados aos dados de estimativa do CHIRPS (Figura 3), onde foram extraídos valores pontuais correspondentes a localização de cada estação e cada caso de CCM para validar as estimativas. Ao realizar a comparação, verificou-se que os valores

precipitação diária das estimativas aproximassem dos acumulados observados das estações do INMET, com exceção do caso do dia 09 de março de 2017 que apresentou subestimativa de 77,6 mm/24 horas. Segundo Paredes-Trejo et al. (2017),as estimativas do **CHIRPS** correlacionam bem com as observações de estações meteorológicas de superfície no nordeste do Brasil, porém tende a subestimar as precipitações mais intensas (acima de 100 mm/24 horas). Mas na ausência de dados de superfície o conjunto de dados do CHIRPS podem ser útil para estudos que necessitam de informações a respeito da precipitação em maiores escalas no NEB, como o caso de CCM, onde em todos as áreas foram observados grandes acumulados de precipitação na região de atuação do sistema (Figura 3).

Tabela 5. Valores de precipitação acumulada em 24h das estações do INMET e estimadas pelo CHIRPS para todos os casos de CCM e suas respectivas datas de ocorrência.

Casos	Cidade (estação)	Precipitação (INMET)	Precipitação (CHIRPS)
14/01/2017	Barra do Corda – MA	72,5	78,5
24/01/2017	Colinas - MA	72,0	75,5
16/02/2017	São Luís - MA	43,6	31,9
18/02/2017	Morada Nova - CE	146,0	68,4
09/03/2017	Fortaleza - CE	64,8	63,8
22/03/2017	Iguatu - CE	39,6	44,4

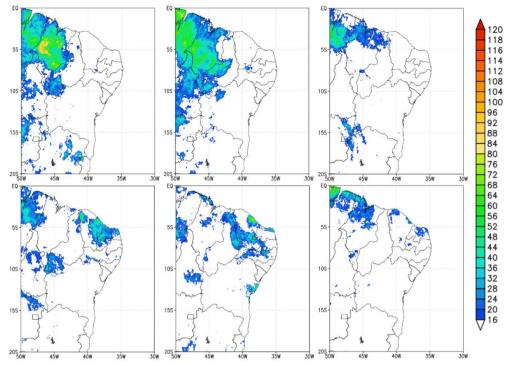


Figura 3: Dados de precipitação (mm/24h) estimados pelo CHIRPS para os dias (a) 14/01/2017, (b) 24/01/2017, (c) 16/02/2017, (d) 18/02/2017, (e) 09/03/2017, (f) 22/03/2017.

De acordo com a leitura dos dados METAR (Tabela 6), houve a ocorrência de trovoadas em 5 dos 6 CCM identificados em 2017. As trovoadas se desenvolveram exclusivamente no Verão, onde nesses meses são mais propícios a formação de trovoadas isoladas nesta região (Cordeiro et al., 2013). Bem como àquelas Tabela 6- Leitura dos dados METAR.

associadas aos CCM, estas que ocorrem com maior incidência nos meses de janeiro, março e abril, (Lyra et al., 2018). De acordo com Cordeiro et al., 2018), os CCM são um dos sistemas meteorológicos que mais causam precipitações intensas e trovoadas na costa leste do NEB.

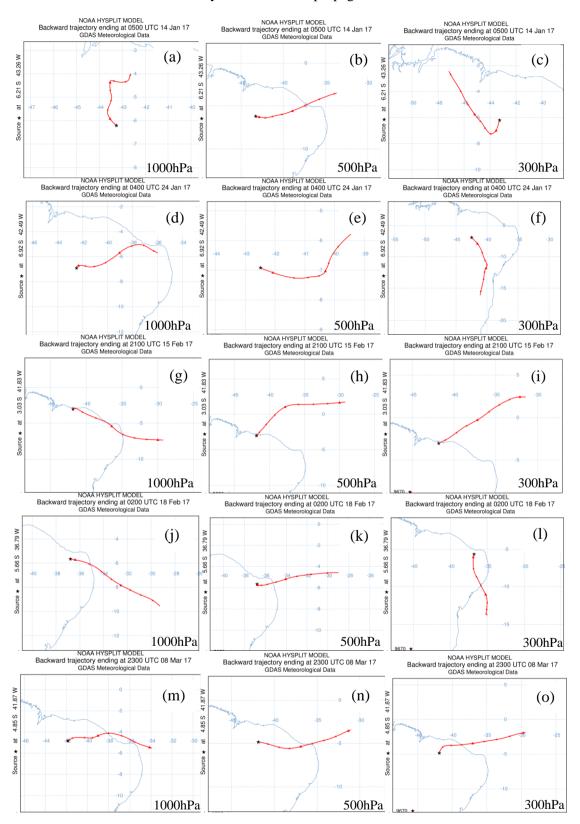
Datas	Leitura METAR
14/01/2017	2017011415 - METAR SBSL 141500Z 04006KT 9999 TS FEW015 SCT017 FEW020CB BKN080 28/23 Q1010 RETS=
24/01/2017	2017012415 - SPECI SBSL 241511Z 12008KT 5000 - TSRA BKN013 FEW025CB 24/22 Q1012=
16/02/2017	2017021615 - METAR SBSL 161500Z 06010KT 9999 - TSRA BKN015 FEW030CB 25/23 Q1014 RERA=
18/02/2017	2017021809 - SPECI SBFZ 180925Z 15008KT 2500 RA BKN010 OVC080 24/23 Q1013=
09/03/2017	2017030901 - METAR SBTE 090100Z 10005KT 9999 -TSRA SCT030 FEW040CB OVC100 24/23 Q1012=
22/03/2017	2017032201 - METAR SBSL 220100Z 12003KT 9999 -TSRA FEW012 SCT015 FEW020CB OVC080 23/22 Q1015=

Por fim foram analisadas as trajetórias das parcelas de ar (Figura 4), que originaram a formação dos CCM, estas são apresentadas em níveis de pressão distintos, 1000hPa, 500hPa e 300hPa. Verificou-se um padrão de deslocamento

zonal nos baixos e médios níveis da atmosfera. Os CCM originados nas regiões mais centrais do NEB possuíram maior variação em relação aos sistemas costeiros, estes que indicam a influência dos ventos alísios em baixos níveis. Em 300hPa as trajetórias

possuíram maior variação, apresentando também parcelas com escoamento meridional. Lyra et al.

(2019) que as parcelas de ar geradoras do CCM se propagaram, em sua maioria, do oceano Atlântico.



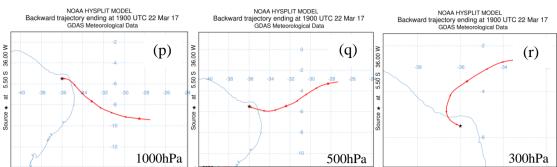


Figura 4: Trajetórias da parcela de ar com 48h de antecedência nos planos horizontais para os dias 14/01/2017 (a), (b), (c); 24/01/2017 (d), (e), (f); 16/02/2017 (g), (h), (i); 18/02/2017 (j), (k), (l); 09/03/2017 (m), (n), (o); 23/03/2017 (p), (q), (r), com os respectivos núcleos dos CCM no ponto final das trajetórias.

Conclusões

De acordo com as normas propostas por Maddox (1980), foram identificados 06 CCM sobre o território do NEB durante o ano de 2017. Os CCM analisados apresentaram ocorrência exclusiva durante o solstício de verão. Devido à formação no setor Norte na região do NEB, os eventos podem estar associados à convecção provocada pela ZCIT, este sistema que se mantém seu posicionamento mais ao sul durante a estação predominante dos CCM. De forma geral, constatou-se que o seu pico de formação variou entre 19 e 05 UTC. Os CCM atingiram sua área de extensão máxima majoritariamente durante a madrugada, com um intervalo de aproximadamente gênese da horas entre 0 início desenvolvimento máximo. Os valores

pluviométricos médios associados foram de aproximadamente 70mm em 24 horas, onde houve registro de até 145mm/24h. Todos os casos apresentaram elevado valor convectivo, com CAPE acima de 1200 J·Kg-1 e LI entre -3 e -7, o que indica a grande possibilidade da geração de trovoadas associadas, o que de fato ocorreu 83,3% dos casos. Por fim, através da análise conjunta pode-se afirmar a importância do fluxo de umidade proveniente do atlântico para a formação dos CCM, bem como as parcelas de ar originadas do oceano, com elevados índices de instabilidade CAPE e LI. Ambos os fatores em contato favoreceram a convecção profunda na região, resultando na formação dos CCM com altos valores precipitações e trovoadas como consequência.

Referências

Alcântara, F. 1969. Manual de análise do Diagrama "Skew-T, log P". Ministério da Aeronáutica, Diretoria de Rotas Aéreas. p. 122.

Brito, B.M.; Levit, V.; Fedorova, N.; Molion, L.C.B.; Tenório, R.S.; Rodrigues, R.N.; Silva, B.F.P. 2011. Análise do comportamento das trovoadas no Estado de Alagoas, previsão a curto prazo. Revista Brasileira de Meteorologia 26, 243-256.

Cavalcante, L.C.V.; Silva, N.M.; Fedorova, N.; Levit, V. 2015. Synoptic and thermodynamic analysis of thunderstorms events in the Alagoas State, the Northeast Brazil. In: XIII International Symposium on Lightning Protection, Balneário Camboriú, SC, 309-313.

Cordeiro, E.S.; Silva, N.M.; Levit, V.; Fedorova, N., 2013. Análise Termodinâmica e frequência de trovoadas entre os anos de 2008 a 2012 em Maceió, Alagoas; Revista Brasileira de Geografia Física 6, 1208-1226.

Cordeiro, E.S.; Fedorova, N.; Levit, V. 2018. Análise sinótica e Termodinâmica dos Eventos com Trovoadas para o Estado de Alagoas no Período de 15 Anos 1998-2012. Revista Brasileira de Meteorologia 33, 685-694.

Dee, D.P.; Uppala, S.M.; Simmons, A.J.; Berrisford, P.; Poli, P.; Kobayashi, S.; Andrae, U.; Balmaseda, M.A.; Balsamo, G.; Bauer, P.; Bechtold, P.; Beljaars, A.C.M.; van de Berg, L.; Bidlot, J.; Bormann, N.; Delsol, C.; Dragani, R.; Fuentes. M.; Geer, A.J.; Haimberger, L.; Healy, S.B.; Hersbach, H.; Hólm, E.V.; Isaksen, L.; Kållberg, P.; Köhler, M.; Matricardi, M.; McNally, A.P. Monge-Sanz, B.M.; Morcrette, J.-J.; Park, B.-K.; Peubey, C.; Rosnay, P.; Tavolato, C.; Thépaut, J.-N.; Vitart, F. 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the royal meteorological society, v. 137, n. 656, p. 553-597.

- Fedorova, N. 1999. Meteorologia sinótica. Pelotas: Universitária da Universidade Federal de Pelotas, v. 1, p. 259.
- Fedorova, N.; Levit, V.; Rodrigues, L.R.L.; Costa,
 S.B. 2008. Mesoscale Convective Complex
 Genesis and forecast in Alagoas State of Brazil.
 Journal of the Georgian Geophysical Society
 12, 36-44
- Fedorova, N.; Levit, V.; Silveira, M.H.S.; Silva, B.F.P.; Amiranashvili, A.G. 2009. Mesoscale Convective Complexes on the Northeastern Coast of Brazil. Journal of the Georgian Geophysical Society 13, 36-49.
- Galway, J.G. 1956. The lifted index as a predictor of latent instability. Bulletim of the American Meteorology Society 37, 528-529.
- Levit, V.; Rodrigues, L.R.L ; Costa, S.B; Fedorova, N.; Gemiacki, L., ; Carvalho, L.C. 2006. Extreme Weather Events Genesis and Forecast in Alagoas State of Brazil. In: VIII International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, PR, 1811-1815.
- Lyra, M.J.A., Fedorova, N., Levit, V., Bonfim, O.E.T.; Januário, I.R. 2017. Influência do El Niño Oscilação Sul na formação dos Complexos Convectivos de Mesoescala sobre o Nordeste brasileiro. In: VII Simpósio Internacional de Climatologia, Petrópolis, RJ.
- Lyra, M.J.A.; Cavalcante, L.C.V.; Fedorova, N.; Levit, V. 2018. Complexos Convectivos de

- Mesoescala sobre o Nordeste do Brasil e Fenômenos Adversos Associados. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais 9, 309-313.
- Lyra, M.J.A. 2019. Frequência dos CCM. In:
 Fedorova, N.; Silva, B.F.P; Levit, V.
 Complexos Convectivos de Mesoescala sobre o
 Nordeste do Brasil, v. 1, 27-42.
- Lyra, M.J.A., Cavalcante, L.C.V.; Levit, V.; Fedorova, N. 2019. Ligação entre Extremidade Frontal e Zona de Convergência Intertropical sobre a Região Nordeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências 42, 413-424.
- Maddox, R.A. 1980. Mesoscale Convective Complexes. Bulletin of the American Meteorological Society 61, 1374-1387.
- Paredes-Trejo, Franklin J.; Barbosa, H. A.; Kumar, T.V.L. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. Journal of arid environments, v. 139, p. 26-40, 2017.
- Silva, B.F.P.; Fedorova, N.; Levit, V.; Brito, B.M.; Peresetsky, A. 2011. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia 26, 295-310.
- Silva Dias, M.A.F. 1987. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. Revista Brasileira de Meteorologia 2, 133-150
- Velasco, I.; Fritsch, J.M. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 92, 9591-9613.