Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Diagnóstico de um Complexo Convectivo de Mesoescala Observado no Semiárido do Nordeste Brasileiro

Matheus José Arruda Lyra¹, Osmar Evandro Toledo Bonfim², Natalia Fedorova³, Vladimir Levit⁴

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

² Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, osmartoledob@gmail.com.

³ Prof. Doutora efetiva em Meteorologia Sinótica, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, nataliabras@gmail.com. ⁴ Prof. Doutor efetivo em Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, vladimirle@gmail.com.

Artigo recebido em 05/07/2018 e aceito em 16/12/2018

RESUMO

Este estudo apresenta uma completa análise do ciclo de vida, da trajetória e das condições sinóticas e termodinâmicas associadas à atuação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) observado no dia 02 de março de 2015 sobre o semiárido brasileiro no Nordeste do Brasil (NEB). O CCM foi identificado através da análise das imagens do satélite GOES-13 nos canais infravermelho e vapor d'água, com intervalos de 1 hora entre os dias 01 e 02 de Março de 2015. Dados de reanálise II do National Centers for Environmental (NCEP) foram usados em conjunto com o software GrADS para a confecção dos campos meteorológicos. Os dados de trovoadas foram obtidos através do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). O estudo termodinâmico foi baseado na análise dos perfis verticais de temperatura e umidade previstos com até 48h de antecedência. O CCM em estudo apresentou um ciclo de vida de 7 horas, englobando uma área de cerca de 110.000 km² ocasionando aumento na precipitação e eventos de trovoadas para a região. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se mostrou o principal sistema associado à formação do CCM, além da contribuição dos ventos alísios de sudeste para o transporte de umidade vindo do Oceano Atlântico. As condições termodinâmicas da atmosfera para o dia do evento, como temperatura e umidade do ar, mostraram-se favoráveis ao desenvolvimento do CCM observado. A previsão foi realizada através das trajetórias das parcelas de ar utilizando o modelo HYSPLIT nos 10 níveis padrões. Os perfis previstos com 24 horas de antecedência foram considerados satisfatórios. Palavras Chaves: Precipitação, Escalas Sinóticas, Condições Termodinâmicas da Atmosfera.

Mesoscale Convective Complex diagnosis observed in Semi-arid of Northeast Brazil

ABSTRACT

This study presents a complete analysis of the life cycle, trajectory, synoptical and thermodynamic conditions associated with a Mesoscale Convective Complex (MCC). It was observed on 02 of March 2015 on semi-arid region in the Brazilian Northeast (BNE). GOES-13 satellite infrared (IR) and Water Vapor (WV) images were used in the MCC identification, with intervals of 1 hour from 01 to 02 of March 2015. Reanalysis data II of the National Center for Environmental (NCEP) were used together with the GrADS software for the construction of meteorological fields. Thunderstorm data were provided by the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM). Thermodynamic study was based on the analysis of the temperature and humidity vertical profiles provided for up to 48 hours antecedence. The MCC under study presented a life cycle of 7 hours, encompassing an area of about 110,000 km², causing an increase in precipitation and thunderstorm events for the region. The Intertropical Convergence Zone (ITCZ) was the main system associated with the formation of the MCC, in addition to the contribution of the southeast trade winds to the transport of moisture from the Atlantic Ocean. Thermodynamic conditions of the atmosphere for the event day, such as air temperature and humidity, were favorable to the development of the observed MCC. The prediction was performed through the air trajectories parcels using the HYSPLIT model in the 10 standard levels. Vertical profiles with 24 hours antecedence were considered satisfactory.

Keywords: Precipitation, Synoptic Scales, Thermodynamic Conditions of the Atmosphere.

Introdução

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) caracterizam-se como um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cb) frias e espessas que apresentam a forma circular e crescimento vertical explosivo num intervalo de tempo entre 6 a 12 horas e associam-se, frequentemente, com eventos intensos de precipitação que abrange grandes áreas, acompanhados de fortes rajadas de vento (Maddox, 1980; Yulihastin et al., 2017; Rinaldy et al., 2017). Sua formação está relacionada ao ar frio e seco com ventos fortes de oeste na média troposfera e advecção de ar quente e úmido na baixa troposfera. Ambos, em conjunto, gerando condições para ocorrência de convecção profunda. (Maddox, 1980).

Na região Nordeste do Brasil (NEB), onde se localiza o semiárido brasileiro, existem vários sistemas que provocam precipitação convectiva, dentre eles pode-se citar: as Brisas Marítimas, Sistemas Frontais, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VACN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Ondas de leste (OL), Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAs), Extremidade Frontal (EF), linhas de Instabilidades e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que podem causar precipitação intensa e ventos fortes (Silva et al., 2011).

A literatura clássica não inclui o NEB como região propícia para o desenvolvimento de CCM (Silva Dias, 1987). Entretanto, estudos recentes documentaram a ocorrência de CCM sobre o NEB (Lyra, 2016; Lyra, 2018). Fedorova et al. (2008), verificaram os fatores que influenciaram a gênese e o desenvolvimento dos CCM através das trajetórias das parcelas de ar geradas a partir do modelo HYSPLIT entre os anos de 1999 e 2009. Silva et al. (2008) analisaram os fatores que deram origem a um intenso CCM sobre o oeste do Estado de Alagoas, resultando em precipitações consideráveis, fortes descargas elétricas e até queda de granizo.

Dentro deste contexto, o presente trabalho buscou analisar o ciclo de vida e a trajetória de um CCM ocorrido no semiárido brasileiro no dia 02 de março de 2015, além de verificar os sistemas sinóticos interligados e as condições termodinâmicas da atmosfera na superfície e em altitudes que contribuíram para a formação deste sistema.

Material e métodos

Área de estudo e aquisição de dados

A área estudada deste fenômeno consiste no semiárido brasileiro, no interior do NEB, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e parte do norte do Estado de Minas Gerais (Região Sudeste). Com uma precipitação anual máxima de 800 mm, temperaturas médias anuais de 23 °C a 27 °C, e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o semiárido, caracteristicamente, apresenta regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, em média, de três a quatro meses (Marengo et al., 2011).

Foram utilizadas imagens do satélite GOES-13 (Geostationary Operational Environmental Satellites) nos canais infravermelho (IR) e vapor d'água (WV) adquiridas através do banco de dados do portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) provenientes do Centro de previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), e também dados de reanálise II fornecidos pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP), com resolução de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude.

Para verificar o número de ocorrência de trovoadas foram utilizadas imagens do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) com auxílio do sensor Lightning Imaging Sensor (LIS), que consiste em um sensor utilizado para detectar relâmpagos nas regiões tropicais do globo (Cordeiro et al., 2013).

Os dados diários de precipitação foram adquiridos através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram resgatados para o dia de ocorrência do CCM nas estações que se encontravam sob a área de influência do sistema.

Identificação do caso de CCM

Para a identificação do caso de CCM na região semiárida, as imagens do satélite GOES-13 foram analisadas em um intervalo de 1 hora entre os dias 01 e 02 de Março de 2015 buscando atender as características propostas por Maddox (1980), conforme observado na Tabela 1.

Os campos horizontais de linhas de corrente, umidade e temperatura do ar, foram plotados através do software OpenGrADS a partir dos dados de reanálise II. As linhas de corrente foram plotadas para os níveis de 925, 500 e 300hPa. Enquanto os campos de temperatura e umidade relativa do ar para superfície (1000hPa) e altos níveis da troposfera (300hPa).

Tabela 1. Definição de um CCM baseada em imagens de satélite no canal infravermelho. Fonte: Autor, 2018. Adaptado de Maddox, 1980.

Características físicas	
Tamanho:	A – Cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -32^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 100000 \text{ km}^2$. B – Região interna da cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -52^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 50000 \text{ km}^2$.
Início:	Quando as definições de tamanho A e B sejam satisfeitas.
Duração:	As definições de tamanho A e B deverão persistir por um período $\geq 6\text{h}$
Extensão Máxima:	Quando a definição do tamanho A (-32°C) alcançar seu tamanho máximo.
Forma:	Excentricidade $\geq 0,7$ no momento de máxima extensão.
Término:	Quando as definições de tamanho A e B já não são satisfeitas.

Análise Termodinâmica

Utilizando a metodologia de análise termodinâmica proposta por Brito et al. (2011), os perfis verticais simulados (Ps) foram plotados através dos dados de reanálise II com auxílio do software OpenGrADS. Estes perfis foram construídos utilizando os 10 níveis padrões (1000, 950, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 e 300hPa) para o ponto de grade de coordenadas iniciais onde encontrava-se o núcleo do CCM no seu estágio inicial.

O modelo Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajector (HYSPLIT) foi utilizado para construir trajetórias de parcelas de ar com 12, 24, 36 e 48h. Os dados de entrada utilizados foram os dados do NCEP. A direção da trajetória é a ‘‘BACKWARD’’, isto é, de onde a parcela de ar veio. Também foi determinado o ponto final da trajetória, pela latitude e longitude no centro de desenvolvimento máximo do CCM. O

ponto final da trajetória também foi determinado no plano vertical, que foi calculado em 10 níveis.

O perfil previsto (Pp) foi elaborado para o dia 02/03/2015, com intuito de avaliar o comportamento termodinâmico da atmosfera nas 12, 24, 36 e 48 horas que antecederam o CCM, usando as trajetórias do modelo HYSPLIT para os mesmos níveis do perfil vertical simulado citados acima. Estes perfis foram construídos através da utilização dos dados de temperatura (T) e de temperatura do ponto de orvalho (Td) nos pontos iniciais das trajetórias das parcelas de ar do modelo HYSPLIT nos todos os níveis. Os perfis previstos são considerados satisfatórios, ou seja, boas previsões, quando as curvas de temperaturas T e Td não ultrapassarem uma margem de erro de 2°C .

A avaliação de todos os perfis verticais da atmosfera também foi feita aplicando o índice de levantamento (LI) e o CAPE+, uma vez que valores negativos de LI indicam as condições instáveis na

atmosfera, e valores elevados de CAPE+ indica um maior potencial de desenvolvimento de

Resultados e discussão

Ciclo de vida e trajetória do CCM

Através da sequência das imagens obtidas do satélite GOES-13 (Figura 1), com o canal infravermelho realçado para visualizar as células convectivas profundas, e em conjunto com a filtragem das normas propostas por Maddox (1980), foi possível acompanhar o ciclo de vida de um CCM atuando sobre o semiárido brasileiro no

tempestades (Nascimento, 2005; Cordeiro et al., 2013),

dia 02 de março de 2015, desde o início de sua formação por volta das 03UTC sobre o sertão do Estado da Paraíba, até a sua dissipação às 10UTC.

Nas imagens de satélite subsequentes (Figura 1) notou-se que o CCM já formado englobou uma área horizontal maior que 110.000 km², mantendo a mesma temperatura no topo, cerca de -70°C. Por volta das 10UTC ocorreu o processo de dissipação, totalizando um ciclo de vida de 7 horas, deixando grande parte do semiárido encoberto por uma nebulosidade cumuliforme.

Figura 1: Sequência de imagens de satélite GOES-13 apresentando a trajetória do CCM ocorrido no dia 02 de Março de 2015 entre as 03UTC e 10UTC.

A utilização das imagens de satélite no canal infravermelho auxiliou na identificação do deslocamento do CCM, desde a localização do núcleo no estágio inicial até o estágio de dissipação. Em relação à trajetória do CCM, seu desenvolvimento apresentou um deslocamento de leste para oeste, seguindo a direção dos ventos em baixos níveis. Sua trajetória, levando em consideração a posição do núcleo do CCM às 03UTC até às 10UTC, apresentou uma distância de cerca de 380 km.

Uma comparação entre o deslocamento real do CCM e a direção das linhas de corrente em baixos, médios e altos níveis foi efetuada, onde constatou-se a direção da trajetória relacionada às linhas de corrente em 925hPa (Figura 2) e, além de observar o mesmo sentido do deslocamento desde o momento da formação até o desenvolvimento máximo, corroborando com os resultados obtidos por Lyra (2018), que descreveu a ligação direta do escoamento para oeste dos CCM ligados a ZCIT na faixa entre as latitudes 2° - 9°S.

Figura 2. Linhas de corrente em 925hPa às 00Z do dia 02 de Março de 2015 e sua respectiva direção do deslocamento real do CCM e das linhas de corrente.

Comparando a direção real do deslocamento do CCM e as linhas de correntes em altos, médios e baixos níveis foram obtidos a diferença entre as suas direções, no qual observou-se a influência da direção e magnitude do vento nas trajetórias do sistema. Do mesmo modo, foi relacionado à direção de deslocamento do CCM com a direção das linhas de corrente em baixos níveis da atmosfera. Na evolução do estágio inicial para o estágio de desenvolvimento máximo do

CCM, a velocidade do vento (VV) oscilou em média cerca de 8m/s nos baixos níveis até o nível de 700hPa, e para os altos níveis (acima de 500hPa) houve uma redução na VV apresentando uma média de 6m/s (Tabela 2). Na mudança do estágio de desenvolvimento para a dissipação do CCM, ocorreu um aumento da VV em baixos níveis, entretanto uma redução na VV em altos níveis, respaldando com Fedorova et al. (2008).

Tabela 2. Direção de deslocamento do vento (LC) e velocidade do vento (VV em m/s) das linhas de corrente. 1 – Estágio inicial do CCM; 2 – Estágio de desenvolvimento máximo; 3 – Estágio de dissipação.

		925hPa		850hPa		700hPa		500hPa		400hPa		300hPa	
Estágio	Direção do CCM	LC	VV	LC	VV	LC	VV	LC	VV	LC	VV	LC	VV
1 – 2	NO	O	8.4	O	9.0	NO	7.0	SO	4.5	SO	8.0	S	5.6
2 – 3	O	O	9.1	O	9.9	O	6.6	SO	6.4	SO	6.6	SO	5.2

O evento analisado apresentou aumento nos valores de precipitação no semiárido brasileiro, especificamente na divisa entre os estados de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Piauí (Tabela 3). Os maiores valores obtidos nas estações próximas variou entre 40 e 85mm. Segundo a metodologia de Sentelhas et al. (1998) a precipitação ocorrida no dia 02 de março de 2015 na região do semiárido caracterizou-se como chuvas intensas.

As cidades de São Gonçalo, Paulistana, Cabrobó, apresentaram precipitação diária superior a 30% da média mensal para o evento analisado. Resultados semelhantes com aumento de precipitação em casos de CCM foram apresentados por Souza e Alves (1998), Silva et al. (2008), Fedorova et al. (2008) e Dal Piva et al. (2016).

Tabela 3. Valores de precipitação no dia de ocorrência do CCM e valores médios mensais para as cidades de São Gonçalo-PB, Paulistana-PI, Iguatu-CE e Cabrobó-PE.

Cidade	Precipitação (mm/24h) (02 de março de 2015)	Precipitação (mm/mês) (média março)
São Gonçalo - PB	84,8	245
Paulistana - PI	76,4	130,4
Iguatu - CE	43,0	251
Cabrobó - PE	41,0	140

Os eventos de trovoadas foram contabilizados por meio das imagens do satélite TRMM com auxílio do sensor LIS, no qual foi verificada através da escala de relâmpago (flash scale) uma baixa frequência de eventos de trovoadas, porém significativas para o NEB

(Cordeiro et al., 2013), nas coordenadas onde se estende a área de cobertura do CCM no semiárido brasileiro (Figura 3). Lyra (2016) demonstrou que, as ocorrências de trovoadas associadas à CCM acontecem com maior frequência entre os meses de janeiro e abril para o NEB.

Figura 3. Trovoadas associadas ao CCM através do satélite TRMM.

Condições sinóticas e termodinâmicas para o dia do evento

Os campos de linhas de corrente, gerados a partir dos baixos até os altos níveis, caracterizaram a atuação de alguns sistemas sinóticos próximos à região de convecção no qual gerou o CCM (Figura 4). Em 925hPa foi possível observar a confluência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) um pouco à norte, e a leste notou-se a influência dos ventos alísios de sudeste, responsável pelo

transporte de umidade provenientes do Oceano Atlântico. Em 500hPa apenas a retaguarda de uma crista foi aparente, já em 300hPa um cavado de norte atuou conjuntamente com a periferia de um anticiclone em altos níveis sobre a região de formação do CCM. Segundo Lyra (2018), a ZCIT foi responsável pela formação de 38,5% dos casos de CCM entre os anos de 2008 e 2015.

Figura 4. Linhas de corrente em 925hPa (a); 500hPa (b) e 300hPa (c), para o dia 02 de Março de 2015 às 00UTC.

O perfil vertical simulado (Figura 5) foi plotado para as coordenadas do núcleo do CCM no estágio inicial. Devido à falta de dados de radiossondagem durante todo o mês para as estações próximas à ocorrência do CCM, ficou impossibilitado de realizar a comparação com o perfil real para análise de qualidade. O perfil

simulado apresentou um elevado valor de energia CAPE+, cerca de 1424 JKg^{-1} indicando um potencial de convecção moderada, já o Índice de Levantamento (LI) apresentou o valor de -5, caracterizando forte instabilidade, bem como potencial convectivo severo, corroborando com Fedorova et al. (2008).

Figura 5. Perfil Simulado para Campina Grande (PB) às 06UTC do dia 02 de Março de 2015.

Para a análise da qualidade da previsão das curvas de T e Td, os Perfis previstos foram comparados aos Perfis simulados, ambos para Campina Grande (PB). Em relação à curva T, os perfis previstos foram considerados satisfatórios (boa previsão) somente nas primeiras 24 horas (Figura 6a e 6b), em que os perfis de temperatura

previstos foram parecidos com os perfis de temperatura simulados, isto é, com variação menor que 2°C . Entretanto, a curva de estratificação Td, apresentou desvios maiores que 2°C nos perfis previstos com 36 e 48 horas (Figura 6c e 6d), sendo assim, somente as primeiras 24 horas foram consideradas satisfatórias.

Figura 6. Perfis Previstos plotados para 12h (a), 24h (b), 36h (c) e 48h (d) de antecedência do CCM ocorrido no dia 02 de Março de 2015.

As maiores diferenças entre a linha T prevista e simulada foram encontradas apenas em baixos níveis, após 36 horas, como mostra as Figuras 6c e 6d. Já a linha Td apresentou grandes diferenças em todos os níveis da atmosfera. Os índices LI e energia CAPE+ ajudaram a prever uma atmosfera instável com até 48h de antecedência,

apresentando os maiores valores de convecção e instabilidade para o instante do evento, corroborando com Brito et al. (2011). Contudo, os índices de instabilidade médios apresentaram uma leve perda das características de forte convecção entre 12 e 48h (Tabela 4).

Tabela 4. Índices de instabilidade dos perfis previstos para 12, 24, 36h e 48h de antecedência do CCM.

Índices de Instabilidade	Perfil Previsto 12h	Perfil Previsto 24h	Perfil Previsto 36h	Perfil Previsto 48h

CAPE+	1070	710	813	804
LI	-5	-3	-3	-3

Com intuito de buscar relações com as condições de temperatura do ar durante o desenvolvimento e dissipação do CCM, foi feita uma análise no campo de temperatura do ar para os níveis de 300hPa e 1000hPa. Constatou-se que horas antes da formação do CCM a temperatura do ar na superfície apresentava um pouco elevada

(30°C) (Figura 7a). No entanto, no momento em que o evento já se encontra totalmente formado (fase de maturação), houve uma queda de 2°C na temperatura do ar (Figura 7b), após isto, ocorreu um aumento de 2°C na temperatura do ar na fase de dissipação do CCM (Figura 8c).

Figura 7. Campos de temperatura do ar em 1000hPa às 00UTC (a); (b) 06UTC; (c) 12UTC e em 300hPa às 00UTC (d); (e) 06UTC; (f) 12UTC, ambas para o dia 02 de março de 2015.

No nível de 300hPa a região onde encontrava-se o núcleo do sistema apresentou temperatura do ar um pouco mais elevada se comparando às regiões próximas (Figura 7d, e, f), porém essa temperatura se manteve constante em todo período de análise, o que corrobora com o estudo de Souza e Alves (1998).

As condições da umidade do ar durante o desenvolvimento e a dissipação do CCM foi feita

para os níveis de 300hPa e 1000hPa, observando sua influência com o deslocamento para auxílio na previsão. Em 1000hPa o CCM formou-se em uma região com umidade relativa entre 50-55% (Figura 8a), porém no instante 06UTC constatou-se um aumento de umidade do ar nas regiões próximas ao núcleo do sistema (Figura 8b), respaldando com Souza e Alves (1998). No nível de 300hPa apresentou baixa umidade relativa, cerca de 12% durante o processo de formação (Figura 9d) e,

apresentou queda da umidade (cerca de 9%) durante o processo de dissipação (Figura 8f).

mostrou favorável ao desenvolvimento convectivo, na qual ocorreu a disponibilidade de umidade nas camadas mais baixas.

O resultado das condições da umidade relativa do ar para o evento do dia 02/03/2015 se

Figura 8. Campos de umidade relativa do ar em 1000hPa às 00UTC (a); (b) 06UTC; (c) 12UTC e em 300hPa às 00UTC (d); (e) 06UTC; (f) 12UTC, ambas para o dia 02 de março de 2015.

Conclusões

Conclui-se que o caso de CCM identificado no dia 02/03/2015 no Semiárido brasileiro, ocasionou chuvas intensas em curto espaço de tempo como eventos de trovoadas para a região. A utilização de imagens do satélite GOES-13, devidamente realçada, foram eficientes e importantes para o monitoramento do ciclo de vida do CCM. Já a análise da trajetória do CCM revelou que o deslocamento do CCM foi de aproximadamente 380 quilômetros, desde a posição de seu núcleo no estágio inicial até o estágio de dissipação apresentando uma maior velocidade dos ventos em baixos níveis.

O CCM se formou na região de altos gradientes de temperatura e umidade em baixos e altos níveis. Seu deslocamento foi na direção de núcleo quente em baixos níveis e núcleo frio em altos níveis. Durante todo ciclo da vida o CCM não atingiu estes núcleos, se posicionando sempre na região com gradientes elevados.

As condições termodinâmicas da região se mostraram propícias ao surgimento do CCM, a análise sinótica demonstrou que sua formação esteve associada principalmente com a ZCIT, como também os ventos alísios de sudeste contribuíram para o transporte de umidade oriundo do Oceano Atlântico. Os perfis previstos

apresentaram bons resultados para todos os quatro instantes de previsão com relação à curva T e satisfatórios para a previsão somente com até 24 horas da curva Td.

Os resultados apresentados demonstram que, apesar do semiárido brasileiro não ser uma região características de ocorrência de CCM, pode-se constatar que a estrutura do CCM estudado é comparável a aquela apresentada por outros autores.

Referências

- 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 à Curto Prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 243-256.
- 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.
- Dal Piva, E.; Gan, M.A.; Anabor, V.; Puhales, F.S., 2016. Numerical Simulations with a Mesoscale Convective Complex in South America. *American Journal of Environmental Engineering* 6, 84-93.
- 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.
- Lyra, M.J.A., 2018. Influência dos processos físicos e sinóticos nas trajetórias dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste brasileiro entre 2008 e 2015. Dissertação (Mestrado). Maceió, UFAL.
- Lyra, M.J.A., 2016. Processos de formação e deslocamento dos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Maceió, UFAL.
- Maddox, R.A., 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society* 61, 1374-1387.
- Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Beserra, E.A.; Lacerda, F.F., 2011. Variabilidade e mudanças Climáticas no Semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, 384-422.
- Nascimento, E.L., 2005. Previsão de tempestades severas utilizando parâmetros de modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20, 121-140.
- Rinaldy, N.; Saragih, I.J.A.; Putra, A.W.; Nugraheni, I.R.; Yonas, B.W., 2017. Identification of Mesoscale Convective Complex (MCC) phenomenon with image of Himawari 8 Satellite and WRF ARW Model on Bangka Island (case Study: 7-8 February 2016). IOP Conference series: Earth and Environmental Science [online] 98. Disponível: <http://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012002>. Acesso: 09 mai. 2018.
- Sentelhas, P.C.; Cruciani, D.E.; Pereira, A.S.; Villa Nova, N.A., 1998. Distribuição Horária de Chuvas Intensas de Curta Duração: Um subsídio ao Dimensionamento de Projetos de Drenagem Superficial. *Revista Brasileira de Meteorologia* 13, 45-52.
- Silva Dias, M.A.F., 1987 Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia* 2, 133-150.
- 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, B.F.P.; Fedorova, N.; Levit, V.; Brito, B.M.; Santos, A.G.; Raimundo, C.C., 2008. Mecanismos associados às precipitações intensas observadas entre os dias 13 e 14 de janeiro de 2005 no sertão do estado de Alagoas. In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP.
- Souza, E.B.; Alves, J.M.B., 1998. Estudo diagnóstico de um Complexo Convectivo de Mesoescala observado no norte do Nordeste Brasileiro. In: Anais do X Congresso brasileiro de meteorologia e VIII Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia. Brasília, DF.

Yulihastin, E.; Satyawardhana, H.; Nugroho, J.T.;
Ishida, S., 2017. The Contribution of the
Mesoscale Convective Complexes (MCCs) to

total rainfall over Indonesian Maritime
Continent. IOP Conference series: Earth and
Environmental Science 54. Disponível: <http://doi:10.1088/1755-1315/54/1/012027>. Acesso:
15 mai. 2018.