



**Ligação Entre Extremidade Frontal e Zona de
Convergência Intertropical Sobre a Região Nordeste do Brasil**
Connection Between Frontal Extremity And
Intertropical Convergence Zone On The Northeast Brazil

Matheus José Arruda Lyra; Lucas Carvalho Vieira Cavalcante; Vladimir Levit & Natalia Fedorova

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas,

Bloco 15 (1º Andar) Campus A. C. Simões, 57051-900 Maceió, Alagoas, Brasil.

E-mails: matheuslyraa@gmail.com; lucasxave@hotmail.com; vladimirle@gmail.com; nataliabras@gmail.com

Recebido em: 17/09/2018 Aprovado em: 09/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_413_424

Resumo

O estudo tem como objetivo analisar a atuação de uma extremidade frontal na região Nordeste do Brasil (NEB) e sua ligação com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual resultou na formação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM). A análise destes sistemas desperta bastante interesse devido os fenômenos adversos associados e por ser uma junção de casos onde, até então, ainda não havia registro de pesquisas. A área de estudo é compreendida entre os paralelos 10°N e 80°S e os meridianos 40° a 60°W, estendendo-se entre os dias 10 e 13 de maio de 2014. Foram utilizados dados de reanálise ERA-Interim fornecidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) em conjunto com o software OpenGrADS para a confecção dos campos meteorológicos e imagens dos satélites GOES e METEOSAT no canal Infravermelho (IR) para a identificação e análise dos sistemas sinóticos. A análise termodinâmica deste sistema baseou-se na análise de perfis verticais da atmosfera, plotados através de dados de reanálise II do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e radiossondagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O modelo HYSPLIT foi utilizado em conjunto com estes dados para a confecção dos perfis verticais previstos para até 48h de antecedência do CCM. O ciclone baroclínico em estudo começou a se desenvolver no dia 10 de maio, se intensificando até o dia 13. A periferia frontal fria se estendeu até o NEB, ganhando força através da oclusão instantânea próxima a 20°S. A ZCIT deslocou-se verticalmente para Sul ao longo dos dias, passando a ter sua nebulosidade conectada à frente fria no dia 11. Em consequência da convecção gerada por estes dois sistemas, um CCM se formou nas primeiras horas do dia 12, com área aproximada de 57.000km². Seu deslocamento foi influenciado pela corrente da ZCIT, fazendo com que o sistema se deslocasse para Oeste. O valor máximo pluviométrico gerado por estes sistemas de 170mm/24h foi registrado em São Luís-MA. Os perfis previstos mostraram, de forma geral, bons resultados, com até 12h de antecedência da formação do CCM.

Palavras-chave: Frentes; ZCIT; Região tropical

Abstract

The main purpose of this study was to analyze the performance of a frontal extremity on the Brazilian Northeast (BNE) and its connection with the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), which resulted in the development of a Mesoscale Convective Complex (MCC). The analysis of these systems arouses considerable interest due to the associated adverse phenomena, and also because the unification of these cases has not yet been investigated. The study area was located between 10°N - 80°S and 40° - 60°W, with the time period from 10 to 13 of May 2014. Global reanalysis data was provided by the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), used in conjunction with OpenGrADS software for the construction of the meteorological fields and images of GOES and METEOSAT satellites in the Infrared channel (IR) to the synoptic systems identification and analysis. The thermodynamic analysis was based on the vertical atmospheric profiles analysis, plotted through National Center for Environmental Prediction (NCEP) reanalysis data II and radiosondes available by the National Institute of Meteorology (INMET). The HYSPLIT model was used in conjunction with NCEP reanalysis data for the vertical profiles construction provided up to 48h in advance of MCC. The development of baroclinic cyclone started on May 10, intensifying until May 13. The cold front edge extended to the BNE, intensifying through instantaneous occlusion close to 20°S. The ITCZ had a South displacement over the days, with the cloudiness connected to the cold front on the May 11. In the consequence of these two systems convections, MCC developed in the early hours of May 12, with an approximate area of 57,000 km². The MCC displacement was connected with the ITCZ current, causing a west trajectory. The maximum rainfall value was registered in São Luís-MA (170mm/24h). The provided profiles presented good results up to 12h in advance before the MCC development, presenting a satisfactory result.

Keywords: Fronts; ITCZ; Tropics

1 Introdução

Na região do Nordeste brasileiro (NEB), diversos sistemas meteorológicos provocam precipitação convectiva. Conforme descrito por Silva *et al.* (2011), a dinâmica de chuvas desta região é influenciada principalmente por Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), extremidade de sistemas frontais, Ondas de Leste (OL), Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAs) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

As zonas frontais são uns dos principais sistemas de escala sinótica que atuam sobre a América do Sul, onde são observadas com maior frequência entre 40 e 35°S (Kousky, 1979; Reboita *et al.*, 2010). Ativos durante o ano todo, podem penetrar até latitudes tropicais, com intensidade considerável (Lemos & Calbete, 1996). Regularmente, estes sistemas passam sobre o sul do Brasil e estado de São Paulo, cerca de 80 a 130 vezes por ano (Cavalcanti & Kousky, 2009). Sobre o NEB, as frentes não apresentam grande contraste de temperatura, entretanto, ficam ativas devido ao grande contraste de umidade (Veber, 2011). Silva e Molion (2002) ao estudarem um evento de precipitação intensa na costa leste do NEB, mostraram que além dos fenômenos adversos gerados pelas penetrações de sistemas frontais em latitudes equatoriais, estes sistemas são os principais mecanismos causadores das Perturbações Ondulatórias dos Alísios. Estes sistemas são observados com mais frequência sobre o estado da Bahia, podendo chegar a atingir Alagoas, em alguns casos (Fedorova *et al.*, 2016).

Uvo *et al.* (1988) apresentaram um estudo detalhado sobre a ZCIT e sua importância na precipitação pluviométrica regional do NEB, concluindo que o posicionamento e a intensidade da ZCIT são parâmetros importantes para a qualidade da estação chuvosa do NEB. Segundo Vianello (2000), em sua marcha anual sobre o Atlântico, a ZCIT alcança sua posição mais ao norte (10°N) no final do verão do Hemisfério Norte, em julho e agosto, e a sua posição mais ao sul (5°S) durante os meses de março-abril.

Na América do Sul, os CCM são típicos de atuação no norte da Argentina, Paraguai e sul do

Brasil (Velasco & Fritsch, 1987). Estudos de Shi *et al.* (2017) e Rinaldy *et al.* (2017) mostram a produção de elevados volumes de chuvas causados pela passagem de um CCM. Os CCM são um dos sistemas meteorológicos que mais causam precipitações intensas na costa leste do NEB como também trovoadas e rajadas de vento (Silva *et al.* (2011). Apesar disso esse sistema foi pouco estudado na região tendo sido quase ausente na literatura, sua atuação nessa parte do Brasil. Fedorova *et al.* (2009) identificou 80 casos de CCM sobre a região entre os anos de 1999 e 2009. Um método empregado por Brito *et al.* (2011) para analisar o comportamento de trovoadas no estado de Alagoas através de perfis verticais no diagrama SKEWT-LogP foi utilizado por Lyra *et al.* (2015) para uma análise termodinâmica de CCM. No NEB, a formação destes sistemas está associada à extremidades frontais, ZCIT e VCAN (Milhahn *et al.*, 2012).

Apesar disso, nenhum caso de nebulosidade gerada através da conexão entre a periferia frontal e a ZCIT havia sido relatado na região, sendo assim considerado um caso atípico. Onde o principal objetivo deste trabalho é analisar a junção entre convecção da ZCIT e da periferia frontal entre os dias 10 e 13 de maio de 2014, resultando na formação de um CCM.

2 Metodologia

2.1 Dados

As imagens dos satélites GOES-13 (*Geostationary Operational Environmental Satellites*) e METEOSAT-10 no canal infravermelho (IR) foram consultadas no banco de dados imagens no portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) provenientes do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), disponíveis no endereço: (<http://satellite.cptec.inpe.br>).

Foram utilizados dados de reanálise global ERA-Interim fornecidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), com resolução de 0,25° de latitude por 0,25° de longitude, disponíveis no endereço: (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/le>

vtype=pl/). Os dados de reanálise foram utilizados com o auxílio do software Open Grid and Analysis Display System (OpenGrADS) para confecção de campos béricos horizontais. A região de estudo estendeu-se entre 10°N e 80°S de latitude e 60°W e 40°E de longitude. Os campos de pressão à nível do mar (PNM), linhas de corrente, divergência, espessura da camada, advecção de temperatura e de temperatura potencial equivalente foram plotados para diferentes níveis da atmosfera.

Foram utilizados dados de precipitação das estações convencionais da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram disponibilizados na forma de gráfico com valores diários para todos os dias de maio de 2014, disponíveis em: (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>).

Os dados de radiossondagem para São Luís (MA) foram utilizados para análise vertical da atmosfera em alguns pontos de forte convecção. Estes dados do provenientes do INMET são disponíveis no portal do CPTEC/INPE em: (<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>). Dados de reanálise 2 do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) com resolução 2,5° de latitude por 2,5° de longitude foram utilizados para confeccionar perfis verticais simulados para localidades onde não há radiossondagens. A utilização de dados de outra fonte fez-se necessária devido a melhor representatividade por parte dos perfis plotados com dados do NCEP, em comparação aos do ECMWF, conforme descrito por Cavalcante (2016).

2.2 Análise de Dados

2.2.1 Identificação do Sistema Frontal

A análise do sistema frontal foi feita através da verificação de diversos campos meteorológicos em vários níveis, tais como PNM, linhas de corrente, espessura e advecção de temperatura. O método empregado neste estudo para identificação e análise de sistemas frontais foi descrito por Fedorova & Carvalho (2000); Fedorova *et al.* (2016).

2.2.2 Verificação da ZCIT

A presença da ZCIT foi identificada através da análise das imagens de satélite, localizando a banda de nebulosidade convectiva no IR. Também pelos campos meteorológicos horizontais de linhas de corrente, identificando as regiões de confluência dos

ventos alísios de ambos os hemisférios em baixos níveis da atmosfera (Vasquez, 1994; Satyamurty *et al.*, 1998).

2.2.3 Identificação do CCM

O CCM foi identificado através da análise das imagens de satélite (em um intervalo de 1 hora) no dia 12 de maio de 2014 sobre os estados do Piauí e Maranhão. Foi classificado desta forma por possuir as características apresentadas por Maddox (1980), conforme observado na Tabela 1.

Características Físicas	
Tamanho:	A – Cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -32^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 100.000 \text{ km}^2$. B – Região interna da cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -52^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 50.000 \text{ km}^2$.
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.

Tabela 1 Definição de um CCM proposta por Maddox (1980) baseada em imagens de satélite.

2.2.4 Análise da Estrutura Espacial dos Sistemas Sinóticos

O acompanhamento da estrutura dos sistemas foi feito através da análise conjunta dos campos horizontais, confeccionados no GrADS e das imagens dos satélites GOES e METEOSAT entre os dias 10 e 13 de maio de 2014. O desenvolvimento do ciclone extratropical foi analisado através das linhas de corrente em todos os níveis, sendo observando seu deslocamento assim como os mecanismos que influenciaram o avanço do sistema frontal até o NEB.

2.2.5 Análise Termodinâmica

Os Perfis verticais simulados (Ps) foram plotados com os dados de reanálise através do software OpenGrADs. Estes perfis foram plotados utilizando os 10 níveis padrões (1000, 950, 900, 850, 800, 700,

600, 500, 400 e 300 hPa) 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) é um modelo lagrangiano usado para calcular a trajetória de as parcelas de ar, e encontra-se disponível em: (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). Neste estudo, as trajetórias das parcelas de ar são calculadas com 12, 24, 36 e 48h de antecedência ao fenômeno, em cada um dos os 10 níveis padrões. Os dados de entrada utilizados foram os dados de reanálise 2 do NCEP. A direção da trajetória é a “BACKWARD”, ou seja, de onde a parcela de ar veio.

Por meio das trajetórias calculadas pelo modelo HYSPLIT foram elaborados os Perfil previsto (Pp), com intuito de avaliar o comportamento da atmosfera nas 12, 24, 36 e 48 horas que antecederam o fenômeno. A construção dos Pp baseou-se na utilização dos dados de temperatura do ar (T) e de temperatura do ponto de orvalho (Td) nos pontos iniciais das trajetórias das parcelas de ar do modelo HYSPLIT em todos os níveis padrões. Logo após, é feita uma comparação entre as curvas T e Td dos Pp (curvas

vermelha e azul, respectivamente) são com os dos Ps (curvas pretas). Segundo Brito *et al.* (2011), é utilizado como parâmetro para uma previsão satisfatória: uma margem de erro menor ou igual a 2°C de diferença entre as curvas T e Td do Ps e do Pp. Ou seja, as curvas que não ultrapassaram 2°C de diferença são consideradas boas previsões.

3 Resultados

3.1 Desenvolvimento dos Sistemas de Escala Sinótica

A formação do ciclone baroclínico assim como o avanço do sistema frontal até o NEB aconteceu entre os dias 11 e 12 de maio (Figura 1A, 1B, 1C) e sua ligação com a nebulosidade da ZCIT pode ser vista na Figura 1D, conforme o desenvolvimento de sua nebulosidade associada. O adentramento da periferia frontal ocorreu nas horas iniciais do dia 12, o que em consequência acarretou no aumento da atividade convectiva da região, e a junção com o poder convectivo da ZCIT acabou resultando na formação de um sistema de Mesoescala (Figura 1E).

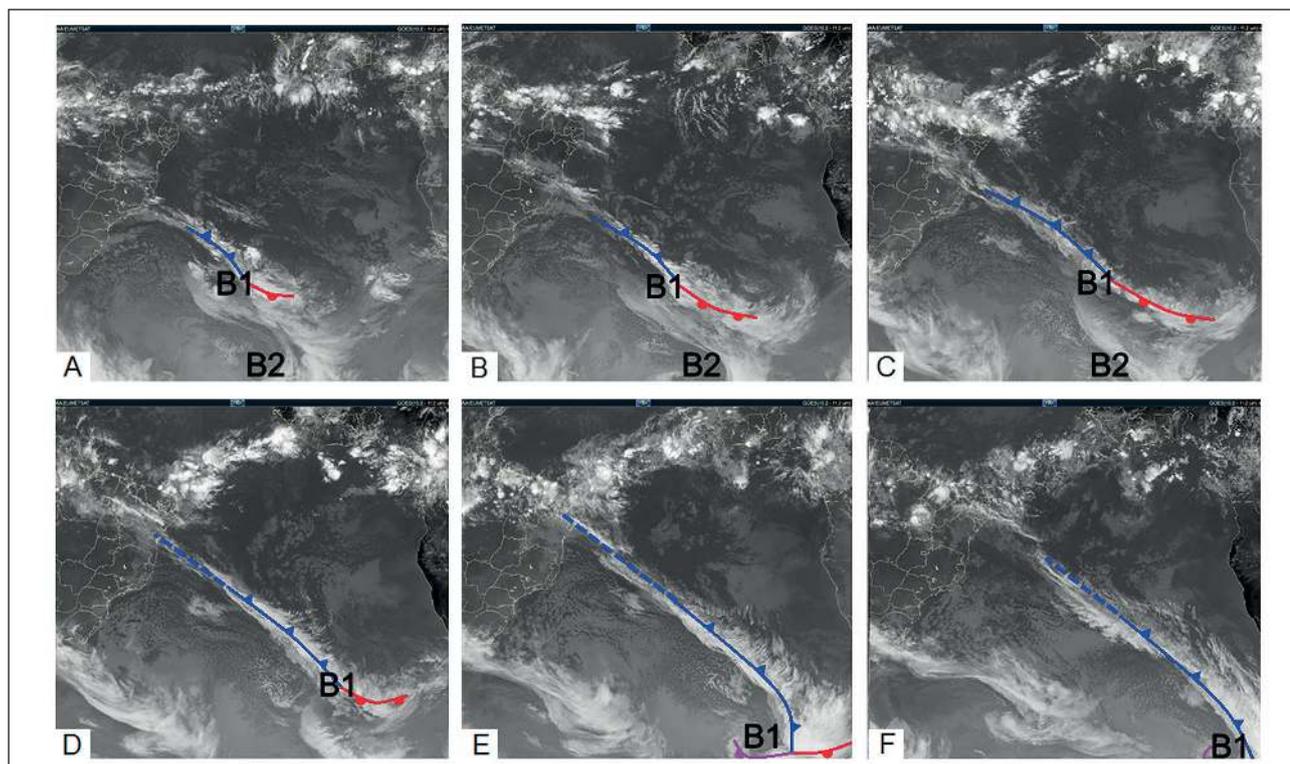


Figura 1 Sequência das imagens de satélite conjuntas do GOES-13 e METEOSAT-10 no canal infravermelho às 00UTC (A), 12UTC (B) do dia 10, 00UTC (C), 12UTC (D) do dia 11, e 00UTC (E), 12UTC (F) do dia 12 de maio de 2014.

Nos campos meteorológicos de PNM (Figura 2) também é possível observar o desenvolvimento do ciclone extratropical baroclínico ao longo dos dias. O início da formação deste ciclone ocorreu no dia 10 de maio, onde é possível observar seu núcleo fixado aproximadamente entre 35°S e 25°W. Seu desenvolvimento é visto apenas em baixos níveis da atmosfera, em que há presença de isóbaras fechadas e circulação fechada em 925 hPa observado nas linhas de corrente (Figura 3A). Com o desenvolvimento da alta subtropical, o núcleo do ciclone em estudo (B1) une-se ao de outro ciclone (B2) mais desenvolvido posicionado a sul nas horas finais do dia 11 de maio, atingindo um núcleo de aproximadamente 960 hPa. No NEB, um cavado começa a se desenvolver próximo à costa leste da região, com intensificação em sua propagação ao longo dos dias. Assim como alguns centros de baixa pressão de somente uma isóbara fechada.

A estrutura vertical do ciclone é melhor observada quando vista através dos campos de velocidade

e magnitude do vento em baixos, médios e altos níveis da atmosfera (Figura 3). As isolinhas fechadas do ciclone em estudo são vistas em 925 hPa em 55°S de latitude, onde o núcleo do ciclone está anexado sobre o meridiano de Greenwich, onde o seu cavado prolongou-se até 20°S (Figura 3A). A intensificação deste cavado ocorreu devido a uma oclusão instantânea (Reeder & Smith, 1988) que ocorreu ao final do dia 11, próximo a 20°S. Este fortalecimento devido a oclusão nessa região possibilitou o adentramento da periferia frontal próximo ao NEB. O fortalecimento do centro de alta pressão, que se encontrava fixado sobre 30°S, possibilitou um maior transporte de umidade para a costa do NEB, devido a intensificação dos ventos alísios. Mais a norte, próximo a 5°N, a forte confluência gerada pela ZCIT começou a intensificar a atividade convectiva na região.

Em médios níveis (Figura 3B), o núcleo do ciclone também é identificado, confirmando seu desenvolvimento em relação aos dias anteriores.

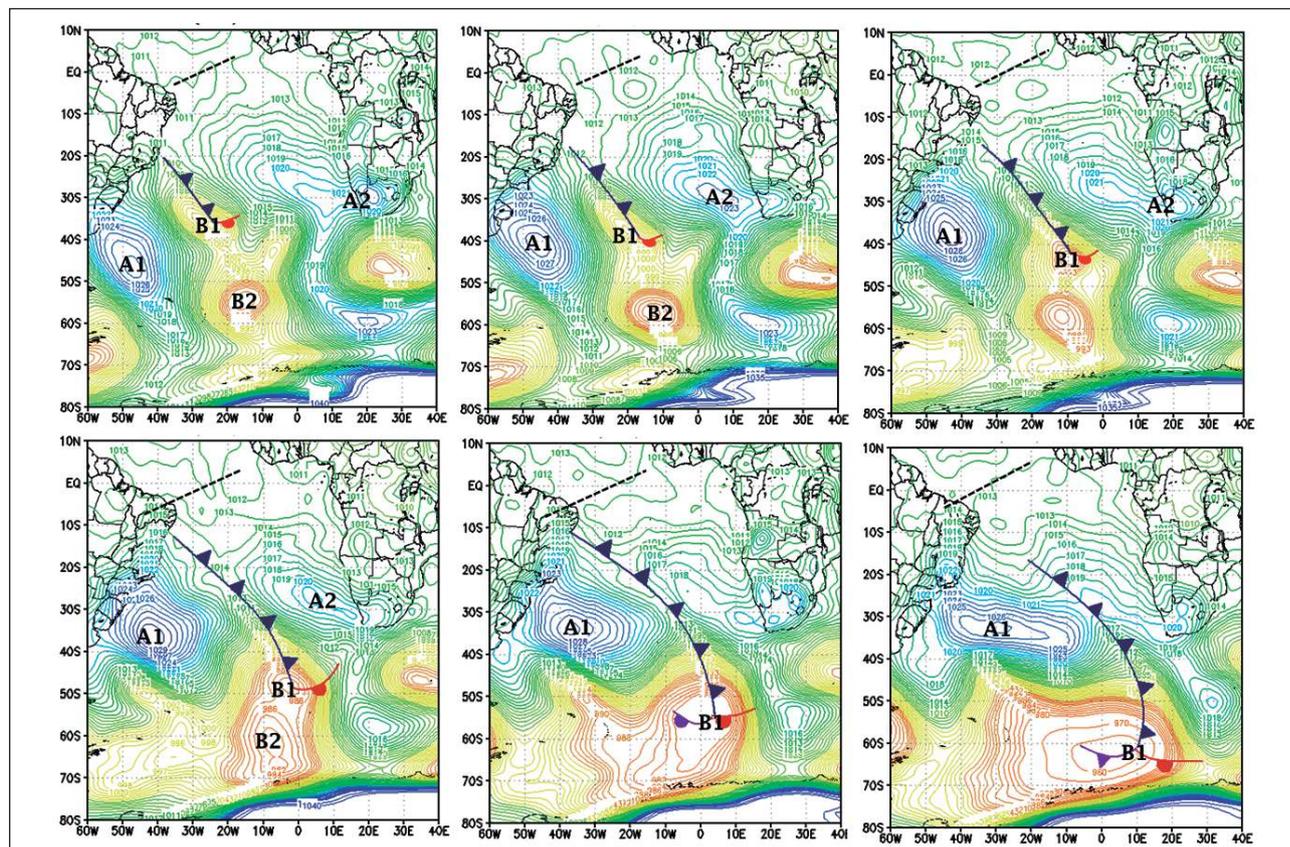


Figura 2 Campos de pressão à nível do mar às 00UTC (A), 12UTC (B) do dia 10, 00UTC (C), 12UTC (D) do dia 11, e 00UTC (E), 12UTC (F) do dia 12 de maio de 2014.

Em sua retaguarda (setor quente do ciclone) situa-se a entrada quente da corrente de jato subtropical (CJST), a qual intensifica a rotação do sistema. Em relação ao restante da família de ciclones apenas o anticiclone (A2) próximo à costa africana estende-se até 500 hPa, o que possibilitou a propagação do cavado devido à pouca influência do outro centro de alta pressão à oeste.

Em 200 hPa (Figura 3C), somente a presença do cavado situado sobre núcleos em níveis mais

baixos é observado na região do ciclone, porém este com maior força de propagação, chegando a alcançar o estado de Alagoas. Divergência também é identificada no setor norte do NEB, consequentemente havendo convergência em baixos níveis. A corrente de jato do Nordeste brasileiro (CJNEB) em posição transversal, conforme definida por Repinaldo (2010), é observada com sua entrada quente próxima ao estado do Piauí e saída fria no oceano, a leste da costa da Bahia (100 hPa – Figura 3D).

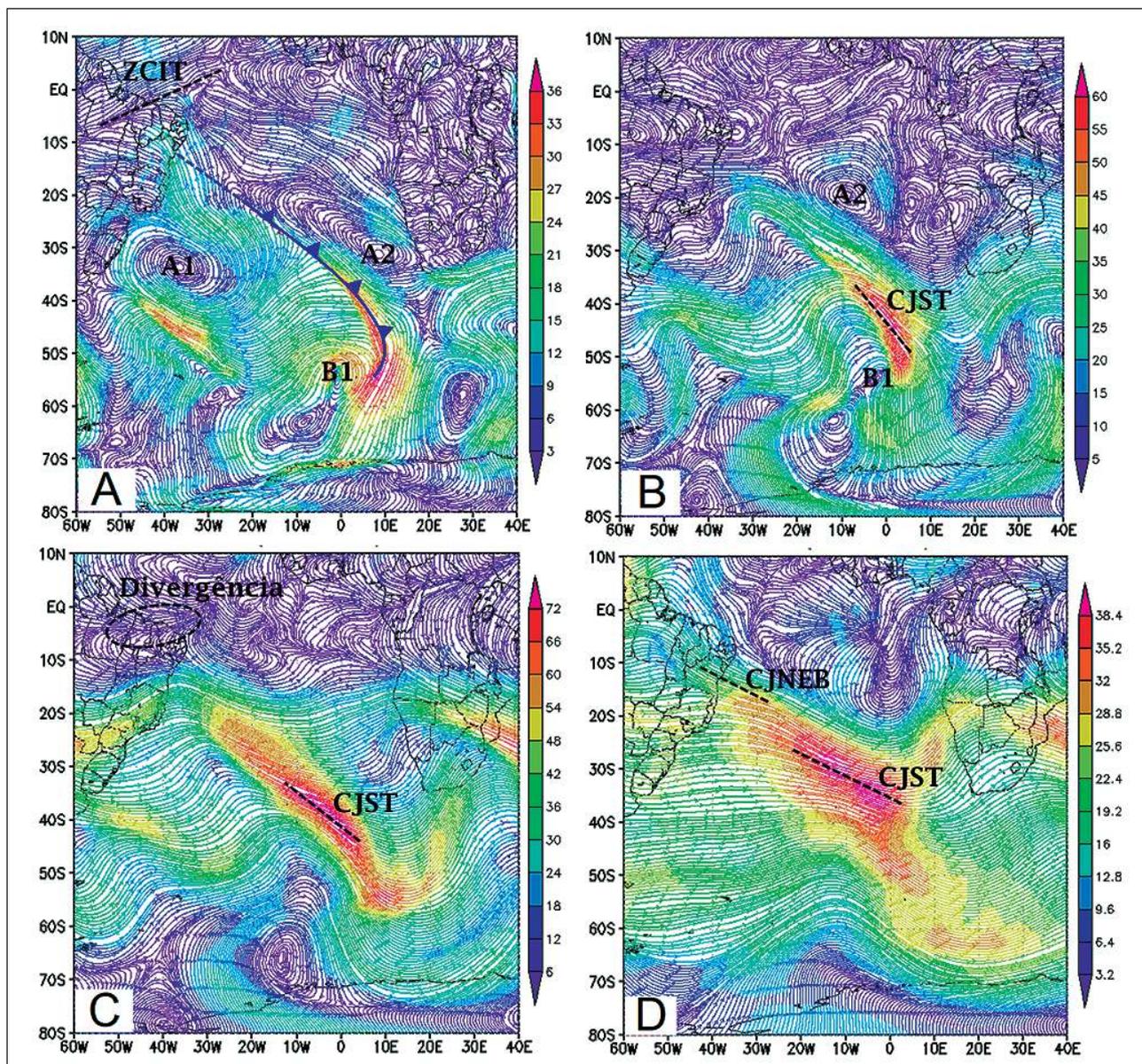


Figura 3 Campos de velocidade e magnitude do vento em 925 hPa (A), 500 hPa (B), 200 hPa (C) e 100 hPa (D) para o dia 12 de maio de 2014 às 00UTC.

3.2 Análise de Influência Sobre o NEB

A atuação dos sistemas de escala sinótica também é observada em outros campos meteorológicos. A advecção de temperatura plotada para baixos níveis (Figura 4A) apresenta as características de um ciclone baroclínico muito bem visíveis, como a advecção fria situada na vanguarda, posteriormente advecção quente na retaguarda do sistema, também comprovado pela Figura 4B. A posição dos sistemas frontais destaca-se nesse campo, onde a frente fria (assim como sua extremidade) propaga-se pelo eixo do cavado, sendo observada a advecção fria, que se estende de 50°S até o estado da Bahia (aproximadamente 10°S). Conforme citado acima, neste horário

o ciclone baroclínico atingiu o estado de desenvolvimento máximo.

Nas linhas de corrente em 200 hPa (Figura 3C), uma forte difluência é vista no setor norte do NEB, caracterizando movimentos ascendentes em baixos níveis. Confirmando-se através dos valores positivos no campo de divergência em 200 hPa (Figura 4C), sobre os estados do Maranhão e Piauí. Em outros setores da região estes movimentos positivos também são visíveis devido a presença da confluência gerada pela ZCIT em baixos níveis. A espessura da camada (Figura 4D) mostra a baroclinia presente no ciclone, com ondas frias avançando até o NEB. E próximo ao seu centro, o adentramento de ar quente é característico.

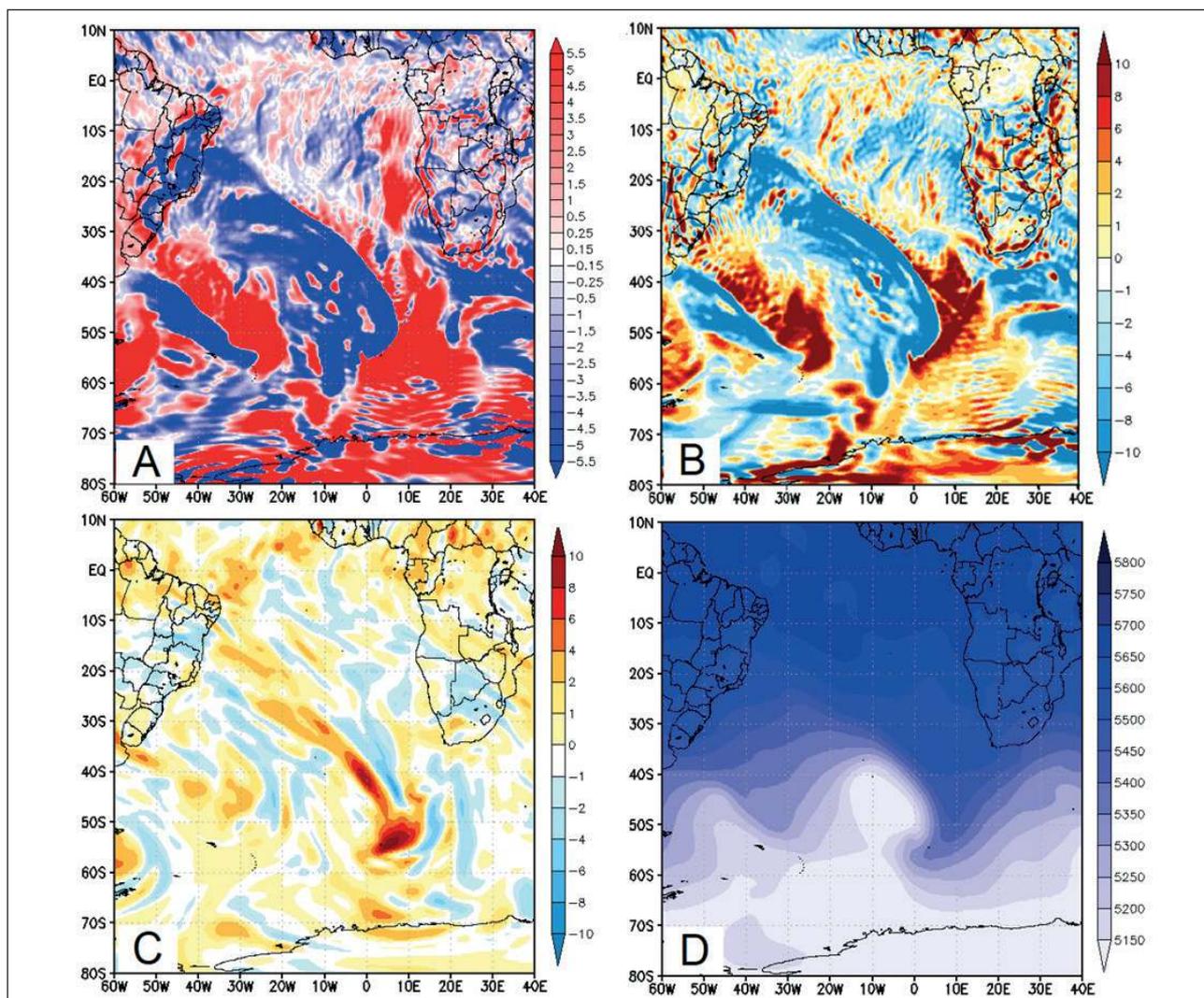


Figura 4 Campos de advecção de temperatura em 925hPa (K/dia - A), advecção de temperatura potencial equivalente em 925hPa (K/dia - B), divergência em 200hPa (Pa/s - C) e espessura da camada entre 1000-500hPa (gpm - D) para o dia 12 de Maio de 2014 às 00UTC.

3.3 Análise do CCM

3.3.1 Desenvolvimento

A forte convecção provocada entre a extremidade frontal e a ZCIT culminou na formação de um CCM formado aproximadamente às 06UTC do dia 12 de maio sobre o estado do Piauí (Figura 5A). As imagens do satélite GOES-13 no canal infravermelho realçado mostram o desenvolvimento e ciclo de vida deste sistema (Figura 5). O sistema atingiu seu tamanho máximo às 08UTC (Figura 5C), com área de aproximadamente 57.000km², valor de excentricidade de 0,80 e temperatura de brilho no topo da nuvem menor que 70°C; estendendo-se até as 14UTC (Figura 5F) totalizando um período de atuação de 8 horas, o qual é o valor médio de duração dos CCM na região. O sentido de deslocamento variou entre oeste e noroeste ao longo do tempo, e comparando essa trajetória real vista pelo satélite ao escoamento nos campos de linhas de corrente em baixos níveis (Figura 3A). Ou seja, o CCM durante o início de for-

mação se encontrava dentro da circulação da ZCIT, o que além de ser o principal sistema de engate para formação e desenvolvimento, também influenciou no deslocamento.

3.3.2 Precipitação Associada

Altos volumes de precipitação foram catalogados não só durante a passagem do CCM, mas também no dia anterior devido a ZCIT. Estes valores são apresentados na Figura 6, em algumas estações localizadas no estado do Maranhão. O pluviômetro da estação meteorológica do município de Turiaçu (Figura 6C) registrou cerca de 78mm no dia 12 de maio, sendo este o maior valor encontrado dentre as estações disponíveis. Em São Luís (Figura 6D), as fortes chuvas do dia 11, que ultrapassaram os 150mm, provocaram mortes provenientes de enxurradas além de deixar inúmeras famílias desabrigadas segundo a Defesa Civil do estado do Maranhão (ver e.g., Imirante, 2014).

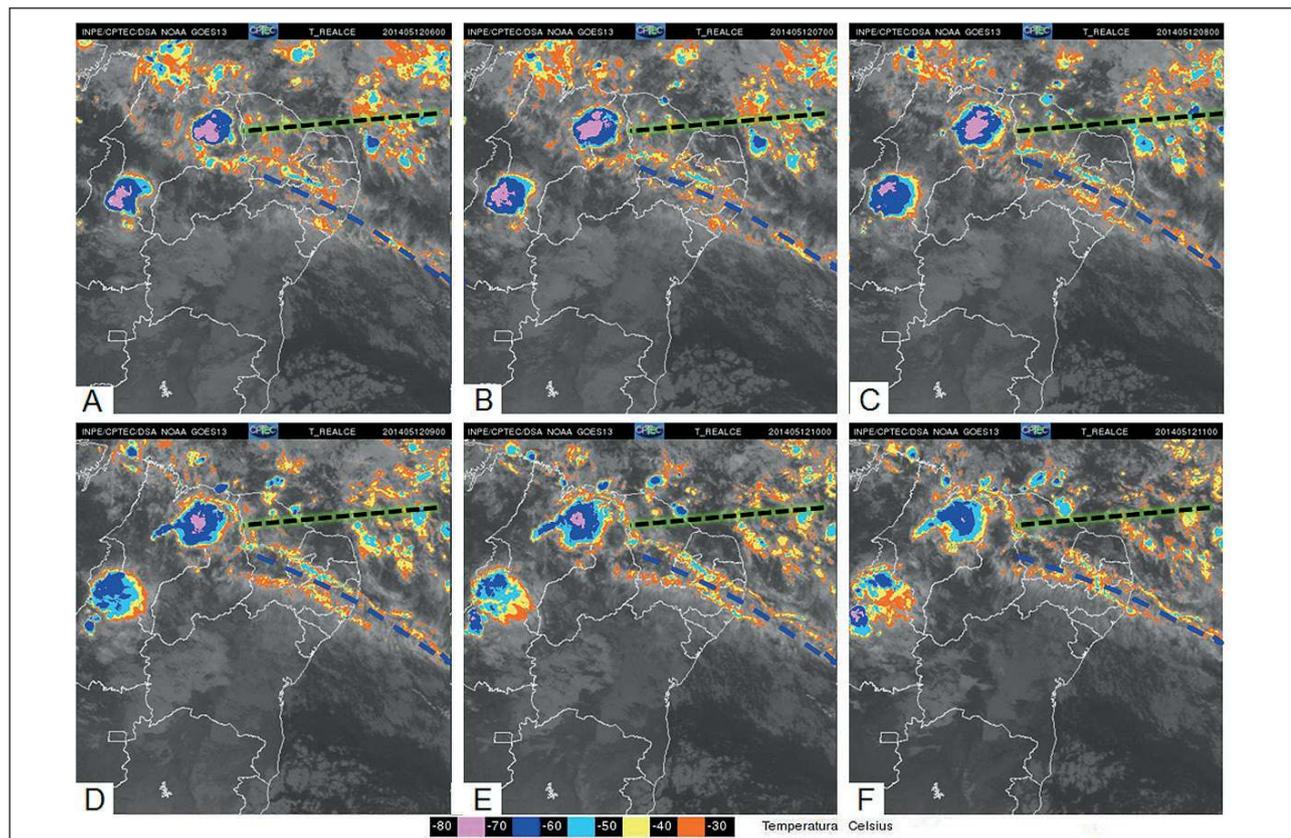


Figura 5 Sequência das imagens de satélite GOES-13 no canal IR realçado às 06UTC (A), 07UTC (B), 08UTC (C), 09UTC (D), 10UTC (E), 11UTC (F) no dia 12 de maio de 2014.

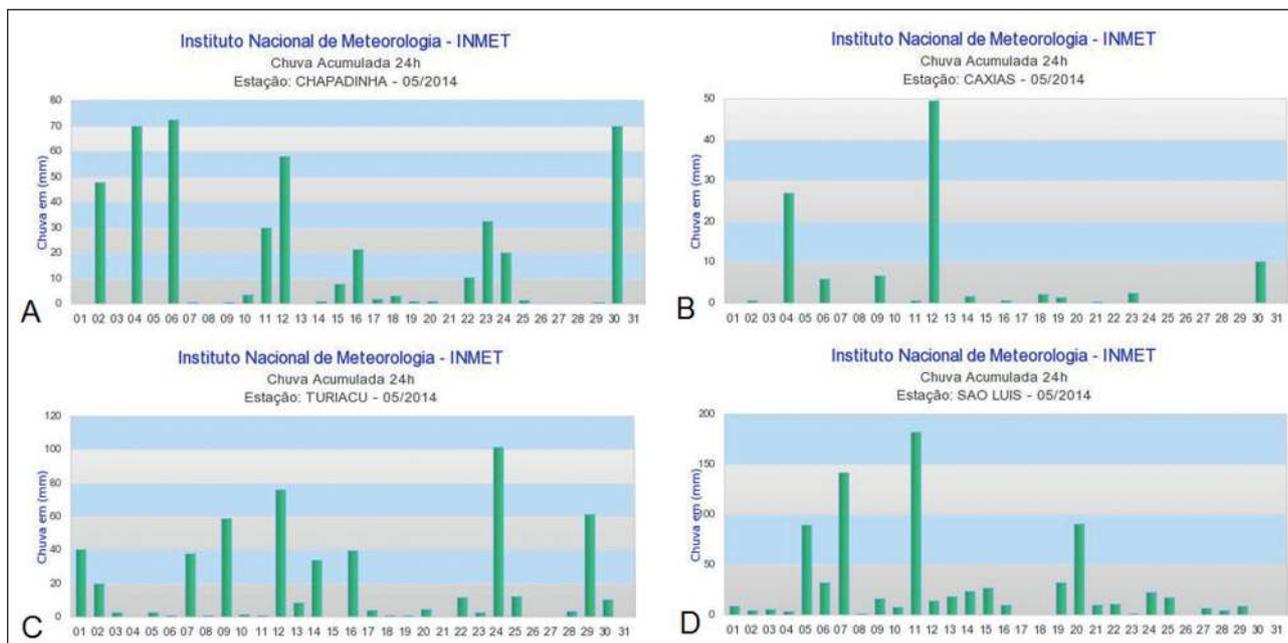


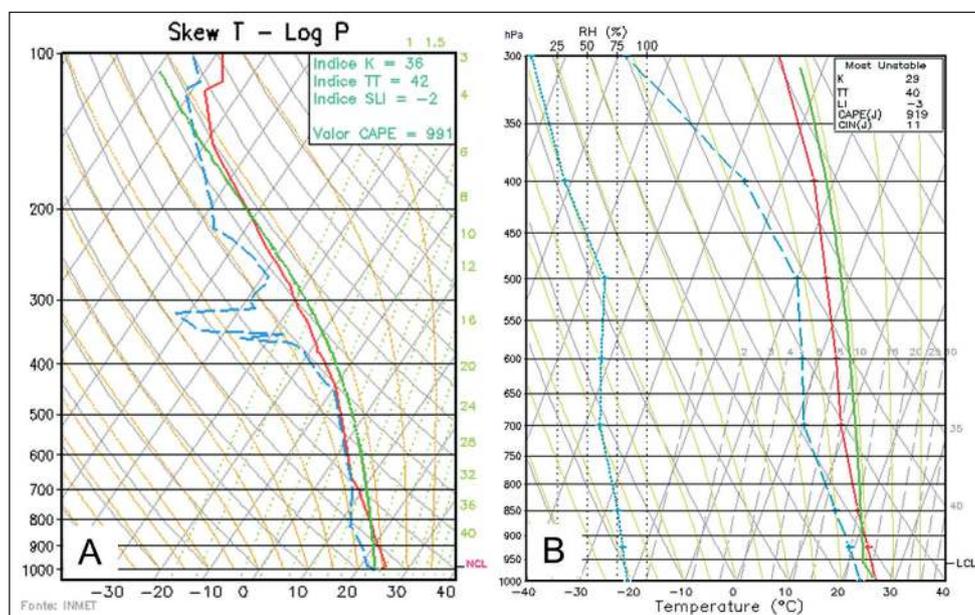
Figura 6 Gráficos mensais de precipitação acumulada em maio de 2014 para as cidades de Chapadinhã-MA (A), Caxias-MA (B), Turiaçu-MA (C) e São Luís-MA (D).

3.3.3 Análise Termodinâmica

Devido à falta de dados de radiossondagem na região próxima ao centro do CCM, foi feita uma comparação entre o perfil simulado (Figura 7B plotado para as coordenadas 4.5°S e 42.9°W e a radiossondagem mais próxima, em São Luís-MA (Figura 7A). Ambos os dados apresentaram instabilidade

condicional em baixos níveis, enquanto uma pequena inversão térmica de radiação foi observada somente na radiossondagem (Figura 7A) assim como elevada umidade em médios níveis. Tanto a radiossondagem quanto o perfil simulado apresentaram potencial convectivo característico, com valores de $CAPE+ = 991K_{g-1}; 919JK_{g-1}$, respectivamente.

Figura 7
 Radiossondagem para estação SBSL em São Luís-MA (A) e Perfil vertical simulado para as coordenadas do núcleo do CCM (B).



Os perfis previstos com 12, 24, 36 e 48h de antecedência foram comparados ao perfil simulado plotado para as coordenadas do centro do CCM durante o início de sua formação. Na Figura 8 são apresentados os Pp para as 00UTC do dia 12 de maio. Nesses perfis, as curvas vermelha e azul representam T e Td, respectivamente. Enquanto as curvas pretas representam a atmosfera prevista para T e Td. Com base nela, observou-se que as previsões foram satisfatórias com até 48h de antecedência em relação à curva T. Por outro lado, a curva Td mostrou boa

previsão apenas até 12h de antecedência, sendo as maiores diferenças entre Td previsto e simulado encontradas em médio e altos níveis. Estes resultados condizem com os encontrados por Cavalcante (2016). Dessa forma, é possível afirmar que a atmosfera foi considerada propícia a formação do CCM com até 12h.

3.3.4 Trajetória da Parcela de Ar

Quanto as trajetórias das parcelas de ar (Figura 9), apresentadas para 3 níveis (1000 hPa (A), 500

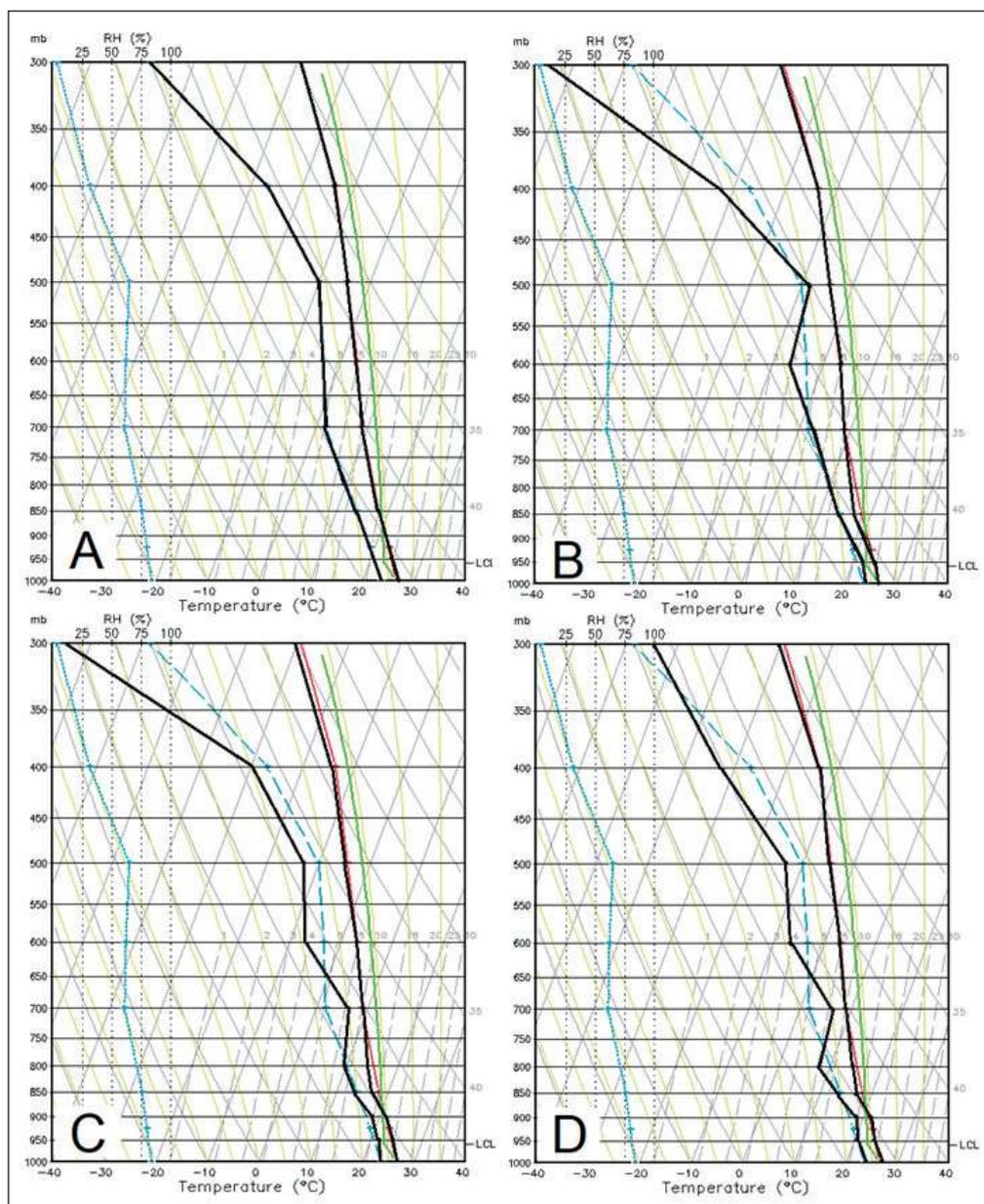


Figura 8 Perfis verticais previstos para 12h (A), 24h (B), 36h (C) e 48h (D) de antecedência à formação do CCM.

hPa (B) e 200 hPa (C)) verifica-se um deslocamento relativamente zonal, de leste para oeste, nas primeiras horas para os baixos níveis (1000 hPa), passando a ter um deslocamento meridional no restante do tempo. Mais acima, no nível de 500 hPa, é possível observar o deslocamento de nordeste da parcela de ar, com características zonais nos instantes finais. No nível de 300 hPa, a trajetória assimilou-se à de médios níveis, com movimento de nordeste mais influente. Desta forma, ficou comprovado que as parcelas de ar geradoras do CCM se propagaram do oceano.

4 Conclusões

O início da formação do ciclone baroclínico ocorreu no dia 10 de maio, se intensificando até o dia 13, conforme pôde ser observado pelos campos de pressão ao nível do mar e imagens de satélite. Ao longo de seu desenvolvimento, a extremidade da frente fria se estendeu até a região Nordeste do Brasil, sendo confirmada através dos campos de advecção de temperatura e espessura da camada. O sistema frontal se intensificou por conta de uma oclusão instantânea na latitude próxima de 20°S. A ZCIT encontrava-se posicionada próxima a 5°N, mas passou a ter posição mais ao sul, consequentemente adentrando ao NEB e intensificando a convecção na região. Onde a junção com a periferia frontal é claramente vista nas imagens de satélite e linhas de corrente no dia 12 de maio.

Em parte da região nordeste, além da junção entre a ZCIT e extremidade frontal, a entrada quente

da corrente de jato do nordeste brasileiro influenciou na formação de nuvens convectivas próximo ao estado da Bahia. O CCM resultante desta junção teve início nas primeiras horas do dia 12, atingindo seu tamanho máximo de aproximadamente 57.000km² próximo ao início da manhã (08UTC). O deslocamento do CCM foi influenciado pela corrente da ZCIT, fazendo com que o sistema se deslocasse para Oeste. As trajetórias da parcela de ar apresentaram deslocamento de Nordeste em todos os níveis, porém com um sentido mais meridional próximo a superfície.

O perfil vertical simulado plotado para as coordenadas do centro do CCM apresentou resultados semelhantes à radiossondagem de São Luís-MA, com instabilidade condicional em baixos níveis e elevado valor de potencial convectivo (CAPE+). Os perfis previstos apresentaram resultados satisfatórios na previsão de temperatura para as 48 horas antecedente, porém em relação à curva Td os resultados foram satisfatórios para 12 horas de antecedência. Com isso, a previsão do CCM foi considerada satisfatória com até 12 horas antes da sua formação.

5 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 a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26(2): 243-256.
- Cavalcante, L.C.V. 2016. *Análise dos eventos com trovoadas no Estado de Alagoas entre 2013 e 2015, levando em conta*

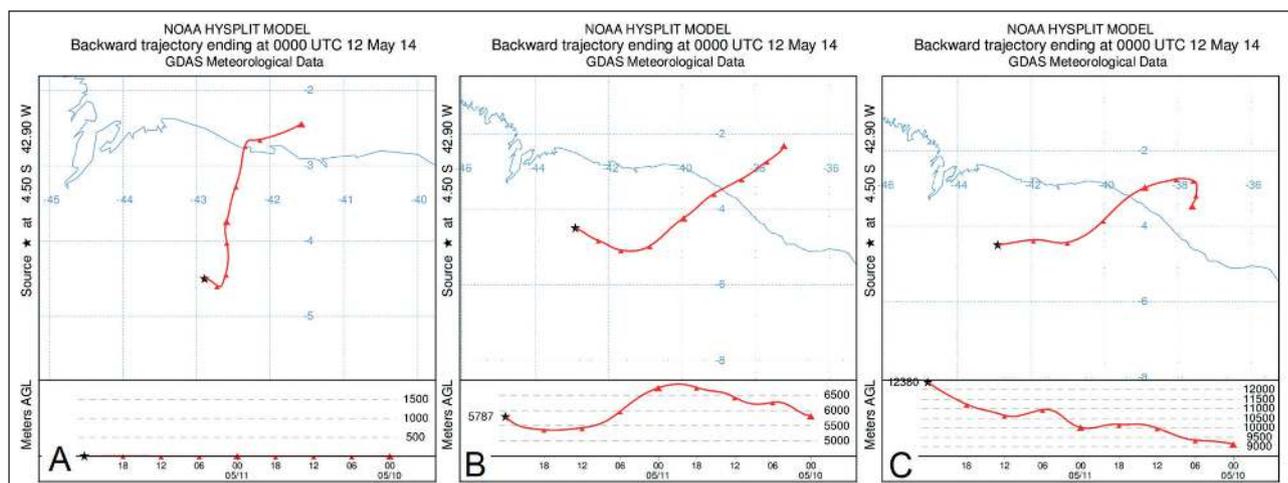


Figura 9 Trajetórias da parcela de ar com 48h de antecedência nos planos horizontais (parte superior) e verticais (parte inferior) para os níveis de 1000 hPa (A), 500 hPa (B) e 200 hPa (C), com o núcleo do CCM no ponto final da trajetória.

- a influência do relevo. Curso de Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Alagoas. Trabalho de Conclusão de Curso. 110p.
- Fedorova, N. & Carvalho, M.H. 2000. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 15(2): 57-72.
- 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.
- Fedorova, N.; Levit, V. & Cruz, C.D. 2016. On Frontal Zone Analysis in the Tropical Region of the Northeast Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, 173: 1403–1421.
- Imirante, <http://imirante.com/sao-luis/noticias/2014/05/12/chuvas-fortes-do-fim-de-semana-deixaram-58-familias-desabrigadas-em-sao-luis.shtml>, acessado em 20/09/2017.
- Kousky, V.E. 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107: 1140–1153.
- Lemos, C.F. & Calbete, N.O. 1996. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral de 1987 a 1995. *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática Edição Especial de Comemoração de 10 Anos*.
- Lyra, M.J.A.; Silva, N.M.; Fedorova, N. & Levit, V. 2015. Mesoscale Convective Complexes and thunderstorm events in the Alagoas state, the Northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGHTNING PROTECTION, 13, Balneário Camboriú, 2015. p. 301-305.
- Maddox, R.A. 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(11): 1374-1387.
- Milhahn, A.W.; Fedorova, N.; Albuquerque, C.S.M. & Levit, V. 2012. Correntes de Jato e Sistemas Sinóticos associados aos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17, Gramado, 2012.
- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P. & Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação da América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2): 185-204.
- Reeder, M.J. & Smith, R.K. 1988: On Air Motion Trajectories in Cold Fronts. *Journal of Atmospheric Sciences*, 45: 4005–4007.
- Repinaldo, H.F.B. 2010. *Vórtice Ciclônico em Altos Níveis e Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro em anos de El Niño e La Niña*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado. 108p.
- Silva, A.B.P, Molion, L.C.B. 2002. Extremos de Precipitação Sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil: O Evento de Agosto de 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu. Anais, Foz do Iguaçu, SBMET.
- Satyamurty, P.; Nobre, C.A. & Silva, D.P.L. 1998. South America, In Meteorology of Southern Hemisphere. *American Meteorological Society*, p. 119–139.
- 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(3): 295 – 310.
- Uvo, C.R.B.; Nobre, C.A. & Citran, J. 1988. Análise da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Equatorial e sua relação com a precipitação no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, Rio de Janeiro. Anais, Rio de Janeiro, SBMET, p. 323-327.
- Vasquez, T. 1994. *Weather Forecasting Handbook*. Weather Graphics Technologies. 98 p.
- Veber, M.E. 2011. *Desenvolvimento de atividade convectivas sobre a região nordeste do Brasil, organizada pela extremidade frontal*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado 132p.
- Velasco, I. & Fritsch, J.M. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 92: 9591–9613.
- Vianello, R.L. 2000. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa, UFV. 449p.