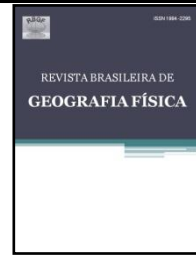




# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Processo de formação do vórtice ciclônico de médios níveis na região continental e fenômenos associados

Marcelo Correia da Silva<sup>1</sup>, Natalia Fedorova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduado em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, autor correspondente: [marcellocorreia@outlook.com](mailto:marcellocorreia@outlook.com). <sup>2</sup> Profa. Dra. ICAT, Universidade Federal de Alagoas, [nataliabras@gmail.com](mailto:nataliabras@gmail.com).

Artigo recebido em 04/02/2019 em 20/05/2019

### RESUMO

O conhecimento de sistemas de larga escala e sua relação com fenômenos adversos é importante para previsão do tempo. Os Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN) foram recentemente descobertos e ainda não possuem informações suficientes sobre esses sistemas. O objetivo deste trabalho foi o estudo da estrutura e processos de formação do VCMN na região continental. Os dados foram obtidos do Laboratório de Pesquisa de Sistemas Terrestres (NCEP / NOAA / NCAR) e do Projeto ERA Centro Europeu de Previsão de Médio Prazo (ECMWF). Os dados de precipitação foram obtidos do projeto CHIRPS. A estrutura, movimentos verticais e processos de formação foram analisados. Oito eventos foram identificados na região continental durante o ano de 2017. Os VCMN estavam localizados no nível de 700hPa e eram mais profundos (até 600hPa) em dois eventos. A duração média da VCMN foi de 12h e máxima de 30h. Um evento com formação típica de VCMN foi apresentado em detalhes. Os VCMN formaram-se abaixo da onda quente e acima da baroclinia fraca. A vorticidade foi fraca em todos os casos entre  $-1$  e  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ . Os movimentos verticais foram predominantemente descendentes. As condições secas no VCMN foram confirmadas por seções verticais e mapas de umidade desde a formação do vórtice até a dissipação. As nuvens de baixos níveis foram observadas durante toda a vida do vórtice. As precipitações ocorreram no evento típico em torno de 12mm / 24h.

Palavras-Chaves: Vórtice Ciclônico de Médios Níveis, Previsão do Tempo, Precipitação.

### Process of formation of the cyclonic vortex of middle levels in the continental region and associated phenomena

### ABSTRACT

Knowledge of large-scale systems and their relationship to adverse phenomena is important for weather forecasting. The Middle Tropospheric Cyclonic Vortex (MTCV) was recently discovered and there is not enough yet information about these systems. The analysis of MTCVs the structure and processes of VCMN formation in the continental region was the principal goal of the present study. Data were obtained from the Terrestrial Systems Research Laboratory (NCEP / NOAA / NCAR) and from the ERA Project European Center for Medium-Term Forecasting (ECMWF). Precipitation data were obtained from the CHIRPS project. The structure, vertical movements and formation processes were analyzed. Eight events were identified in the continental region during the year 2017. MTCV were located at the 700hPa level and were deeper (up to 600hPa) at two events. The vortices persisting was on average 12 hours and maximum of 30 hours. One MTCV event with typical process of formation is considered in detail. The MTCV were formed below the warm wave and above the weak baroclinic zone. The vorticity was weak in all cases between  $-1$  and  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ . The vertical movements were predominantly descending. The dry conditions in the VCMN were confirmed by vertical sections and humidity maps from vortex formation to dissipation. Low-level clouds were observed throughout the life of the vortex. The precipitations occurred in the typical event around 12mm / 24h.

Keyword: Middle Tropospheric Cyclonic Vortex, weather forecast, precipitation.

### Introdução

Diversos sistemas sinóticos atuam em épocas específicas durante o ano no Nordeste do Brasil (NEB) (Gallego et al., 2005), sendo os de maior importância a ZCIT (Zona de Convergência

Intertropical) (Citeau et al., 1988; Uvo et al., 1989; Xavier et al., 2000), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Kousky et al., 1981; Ramirez, 1996; Repinaldo, 2010), Cavados (Rodrigues et al., 2010; Coutinho et al., 2010) e os Sistemas

Frontais (extremidades/resquícios) (Kousky, 1979; Pontes da Silva, 2011; Fedorova et al., 2016), por desempenharem um papel importante nos índices pluviométricos da região. Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Silveira, 2012; Milhahn Júnior, 2013), POA (Perturbações Ondulatórias nos Alísios) (Molion et al., 2002; Coutinho et al., 2007) e Brisas (Lyra et al., 2014; Vemado et al., 2016), possuem importância no tempo da região NEB.

Visando ampliar e aprimorar a previsão do tempo no NEB, várias pesquisas têm sido desenvolvidas, ampliando o conhecimento nessa área. O Vórtice Ciclônico de Médios Níveis (VCMN), foi observado, nas análises de uma banda frontal que influenciou o Nordeste Brasileiro (Fedorova et al., 2006). Quando se analisou a situação sinótica associada a intensas precipitações em Alagoas durante 4 anos, verificou-se a ocorrência de VCMN em 7 casos (Pontes da Silva et al., 2011).

Santos (2012), analisou os VCMN num período de 3 anos (2008-2010), registrou dados de frequência dos vórtices, cuja média é de 232 casos por ano. Referente a localização espacial, foi observada ocorrência preferencial sobre os oceanos, que representaram quase 87% dos casos analisados. Quanto a distribuição vertical, foi verificado que a maior parte deles estavam situados somente em um nível, de 700hPa (41% dos casos).

Os VCMN foram descobertos recentemente e pouco se sabe sobre os processos de formação e sua influência no tempo do NEB. Especialmente, os VCMN sobre as regiões continentais não foram analisados em detalhes. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho é analisar os VCMN sobre a região continental. Para isso, serão avaliadas as seguintes características de VCMN: duração, as camadas preferenciais de atuação, estrutura dos movimentos verticais no momento da pré-formação e da formação do vórtice e precipitações. Estes resultados vão ampliar o conhecimento acerca dos sistemas atmosféricos que atuam na região continental do NEB, aprimorando para a previsão do tempo.

## Metodologia

### Área de Estudo

Abrange as latitudes de 10°N e 35°S e as longitudes de 30°O a 75°O, com foco nos eventos que ocorreram na região continental, conforme figura 1, no período de um ano (de 01 de janeiro até 31 de dezembro de 2017). Toda esta área foi utilizada para a análise de sistemas de escala sinótica. A identificação de VCMN foi feita na área que abrange do Equador até a latitude de 20°S e entre as longitudes de 30°O a 65°O.

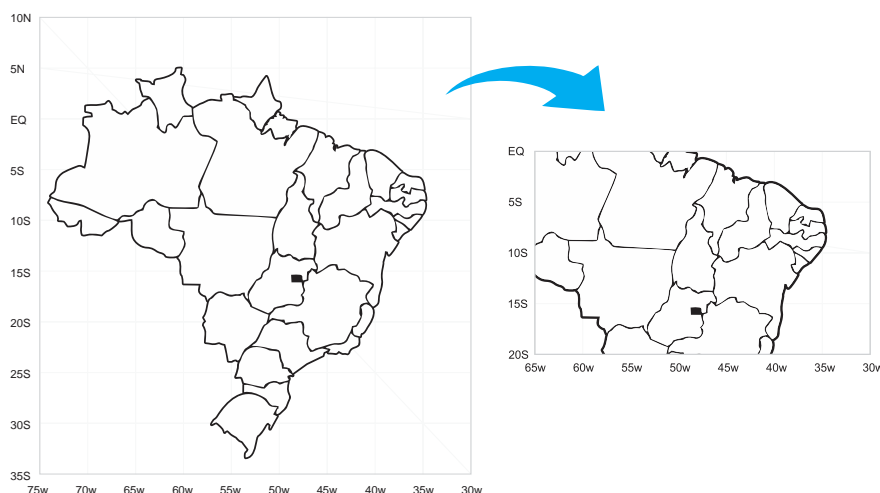


Figura 1. Mapa da área de estudos dos VCMN. Fonte: Autor, 2018.

### Dados

Para as análises dos VCMN, foram utilizados diferentes banco de dados (Pampuch et al., 2016):

1 - Dados de Reanálise 1 do Laboratório de Pesquisas de Sistemas da Terra (ESRL – em inglês) (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>), associado à Divisão de Ciências Físicas do NCEP/NOAA/NCAR –

Serviço Norte Americano de Administração dos Oceanos e da Atmosfera (NCEP, 2018), com resolução de 2,5°x2,5°, divididos nos níveis de pressão entre 1000hPa e 200hPa, em dados diários disponíveis em 00, 06, 12 e 18 UTC;

2 - Dados de Reanálise do Projeto ERA Interim do Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF, 2018) (<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full->

daily/levtype=sfc/), com resolução de  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ , divididos nos níveis de pressão entre 1000hPa e 200hPa, em dados diários disponíveis em 00, 06, 12 e 18 UTC.

A análise termodinâmica da atmosfera, associada à formação de precipitação, foi realizada através de Perfis Verticais Simulados, assim construídos em um ponto de grade que foi escolhido no centro do VCMN, através dos dados do NCEP e do ECMWF. Tais perfis foram gerados em 13 níveis da atmosfera. Vale salientar que tal simulação é realizada, devido à falta de dados de radiossondagem no centro do VCMN. Tais perfis contribuíram principalmente na identificação da instabilidade e umidade da atmosfera, além de aprontar valores numéricos das características de instabilidade (Santos et al., 2014), como CAPE+ (Convective available potential energy) (Emanuel, 1994).

Para avaliar os fenômenos associados a região de atuação do VCMN, utilizaram-se imagens do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), operado pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA e controlada pela National Aeronautics and Space Administration – NASA (<https://www.goes.noaa.gov/>). As imagens oferecidas regularmente são utilizadas pelos serviços de previsão do tempo dos países localizados no continente americano, no caso para o Brasil, utilizou-se a base de dados do CPTEC/INPE (CPTEC, 2018). Em conjunto com os satélites da série METEOSAT, o GOES completa a rede internacional de observação meteorológica da Terra (Teixeira, 2016).

Para análise da precipitação associada ao VCMN, utilizou-se dados do Grupo de Perigos Climáticos com Dados de Precipitação Infravermelha com Estação (CHIRPS, 2018; Paredes et al., 2017). Estas informações apresentam um conjunto de dados pluviométricos quase-globais de mais de 30 anos, abrangendo  $50^{\circ}S$  -  $50^{\circ}N$  (e todas as longitudes), começando em 1981 até dias atuais. CHIRPS incorpora imagens de satélite de resolução de  $0,05^{\circ}$  com dados de estação local para criar séries temporais de chuva quadriculadas para análise de tendências e monitoramento sazonal de seca. Desde 1999, US

Geological Survey (USGS) e cientistas da CHG, apoiados por fundos da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) e da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) desenvolvimento de técnicas para produzir mapas de precipitação, especialmente onde os dados de superfície são escassos.

Através do software GrADS (GrADS, 2018), foram plotadas imagens dos campos sinóticos e termodinâmicos, como linhas de corrente, vortacidade, ômega, seções verticais, espessura da camada, umidade e precipitação e perfil vertical simulado, afim de elaborar a análise e identificar tais sistemas dentre os casos com VCMN estudados nesse trabalho.

#### Identificação e Classificação

Os critérios para identificar os VCMN, foram estabelecidos previamente em Fedorova et al., 2016. Estes critérios são: 1- Centro do vórtice ciclônico entre os níveis 700hPa – 400hPa, descartando os que iniciaram em médios níveis e estenderam-se até altos níveis, ou com início em baixos níveis até médios níveis; 2- Convergência nas linhas de corrente; 3- Vortacidade relativa menor ou igual a  $-1 \times 10^{-5} s^{-1}$ ; diâmetro da área de circulação maior ou igual a 500km.

Se um vórtice é identificado em dois níveis consecutivos, deve ser confirmado: 1- Se nos dois níveis de linhas de correntes a defasagem do centro é menor ou igual  $5^{\circ}$  pela latitude e longitude; 2- Correntes principais de ar são as mesmas que prevalecem nos dois níveis, assim sendo considerado o mesmo vórtice.

Após iniciada a busca nas Linhas de Correntes do VCMN, através dos critérios estabelecidos, foram preenchidas tabelas (ver exemplo na Tabela 1), para cada horário sinótico do sistema observado, como também registrados: data, horário, níveis observados e as coordenadas (latitude x longitude), do centro médio de cada vórtice. Assim, foram encontrados os VCMN e analisados cada evento da formação até a dissipação. Em seguida, foi analisado a época do ano de maior gênese e tempo de vida.

Tabela 1. Exemplo da tabela para análise da localização e duração dos casos de VCMN, Cavado (C), Vórtice (V). Fonte: Autor, 2018.

Data	Nível (hPa)	00UTC	06UTC	12UTC	18UTC	Latitude	Longitude
26/jun	200	-	-	-	-	13°S	52°O
	300	-	-	-	-		
	400	-	-	-	C		
	500	-	C	-	-		
	600	-	C	V	V		
	700	-	C	V	V		
	800	C	-	-	-		
	900	-	-	-	-		
	1000	-	-	-	-		

**Tipos de Formação**

Os tipos de formação de VCMN foram estabelecidos em Silva (2017) com base de formação de cavados nas correntes principais de leste (Tipo I), de oeste (Tipo II) e meridionais (Tipo III). O Tipo I – foi estabelecido por conta da

formação do cavado na Corrente de Leste (CL) (Figura 2), onde se observou algumas inclinações desse cavado, sendo: o primeiro subtipo, o eixo do cavado de noroeste para sudeste (CL a); o segundo subtipo, o eixo do cavado de norte a sul (CL b); e o terceiro subtipo, o eixo do cavado de nordeste para sudoeste (CL c).

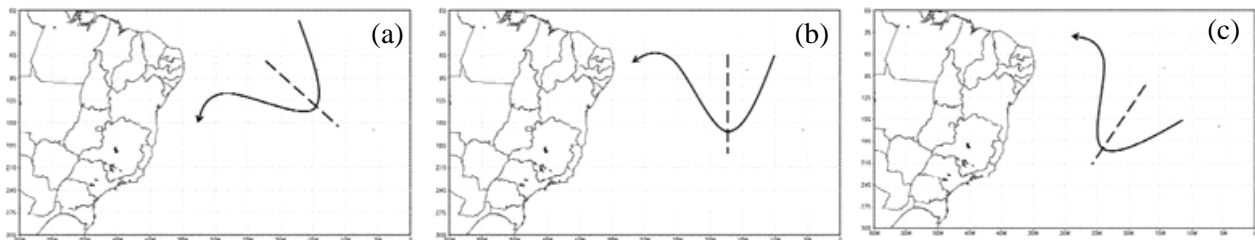


Figura 2. Padrões dos cavados nos processos de formação do VCMN na corrente de leste. Tipo I: cavados com eixo de noroeste para sudeste (a), de norte a sul (b) e de nordeste para sudoeste (c). Linha tracejada: eixo do cavado. Fonte: Silva, 2017.

Tipo II – foi estabelecido por conta da formação do cavado na Corrente de Oeste (CO) (Figura 3). Onde se observou algumas inclinações desse cavado, sendo: o primeiro subtipo, o eixo do cavado de sul

para norte (CO a); o segundo subtipo, o eixo do cavado de sudeste para noroeste (CO b); e o terceiro subtipo, o eixo do cavado com inclinação de sudoeste para nordeste (CO c).



Figura 3. Padrões dos cavados nos processos de formação do VCMN na corrente de oeste. Tipo II: cavados com eixo de sul para norte (a), de sudeste a noroeste (b) e de sudoeste para nordeste (c). Linha tracejada: eixo do cavado. Fonte: Silva, 2017.

Tipo III – foi estabelecido por conta de sua variação no processo de formação nos processos e pela formação do vórtice através das correntes dos dois hemisférios e da meridional (Figura 4). O primeiro subtipo, foi identificado pela sua

formação a partir do Encontro das Correntes do Hemisfério Norte e Sul (Encontro COR HN e HS); no segundo subtipo foi observado a formação do cavado Entre Correntes do Hemisfério Sul e Norte (Entre COR HS), o terceiro subtipo foram

identificados pela formação do cavado na Corrente Meridional de Sul (COR M S), e o quarto subtipo

pela formação do cavado na Corrente Meridional de Norte (COR M N).

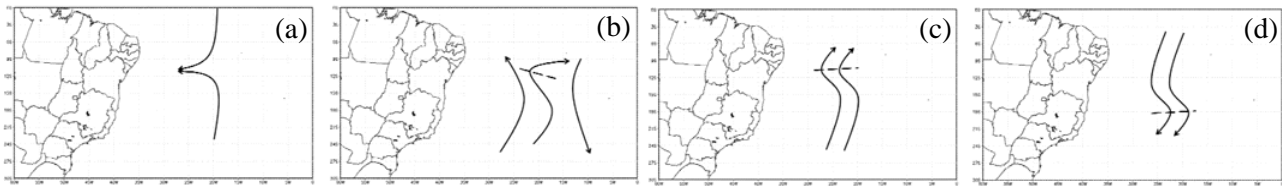


Figura 4. Padrões dos cavados nos processos de formação do VCMN nas correntes meridionais. Tipo III: encontro das correntes do hemisfério Norte e Sul (a), cavado Entre as Correntes (b), cavado na Corrente Meridional de Sul (c) e na corrente Meridional de Norte (d). Linha tracejada: eixo do cavado. Fonte: Silva, 2017. Fonte: Silva, 2017.

## Resultados e discussão

### Análise geral dos casos

A partir da análise dos dados de 2017, identificaram-se 8 casos de ocorrência de VCMN. Devido a diferença no modelo e resolução dos dados entre NCEP (Tabela 2) e ECMWF (Tabela 3), nessa análise identificou-se alguns com diferentes duração e localização. Primeiramente deve ser acentuada que os dois modelos identificaram todos os casos na maneira semelhante. Algumas diferenças são descritas a seguir. Pelo modelo do NCEP, a duração dos casos 2, 3 e 8 é de 6 horas a menos em relação ao registrado pelo modelo do ECMWF. Os dois

modelos identificaram um caso com duração máximo de 30 horas (caso 1). Conclui-se que os VCMN acontecem especialmente no NEB, ressalta que 02 casos identificados aconteceram na região centro-oeste, mais precisamente no estado de Mato Grosso, sendo o caso atípico (caso 3) no nível de 700hPa, e o caso 4, ocorreu na Corrente de Leste (CL b) atuou no nível entre 700-600hPa. Os dois modelos e em todos 8 casos indicaram como o nível de formação 700hPa. Posteriormente os todos os casos foram no mesmo nível e os dois casos foram, mas profundos entre 700-600hPa. Este resultado confirmou os resultados obtidos anteriormente para a região do Oceano Atlântico tropical (Fedorova et al., 2016).

Tabela 2. Casos identificados dos VCMN, utilizando o modelo do NCEP. Fonte: Autor, 2018.

Caso	Tipo	Data/Hora (Z)	Duração (hrs)	Nível Formação (hPa)	Níveis de Atuação (hPa)	Lat X Lon
1	I – CL b	20-01/06UTC	30	700	700	10°S – 35°O
2	I – CL a	21-01/18UTC	6	700	700 – 600	13°S – 40°O
3	Atípico CS	26-06/06UTC	18	700	700	13°S – 53°O
4	I – CL b	28-06/06UTC	12	700	700 – 600	13°S – 55°O
5	I – CL a	16-08/00UTC	6	700	700	10°S – 40°O
6	I – CL b	17-08/00UTC	12	700	700	12°S – 41°O
7	I – CL b	20-08/12UTC	12	700	700	14°S – 44°O
8	I – CL a	31-08/00UTC	6	700	700	10°S – 41°O

Tabela 3. Casos identificados dos VCMN, utilizando o modelo do ECMWF. Fonte: Autor, 2018.

Caso	Tipo	Data/Hora (Z)	Duração (hrs)	Nível Formação (hPa)	Níveis de Atuação (hPa)	Lat X Lon
1	I – CL b	20-01/06UTC	30	700	700	10°S – 35°O
2	I – CL a	21-01/18UTC	12	700	700 – 600	13°S – 40°O
3	Atípico CS	26-06/06UTC	24	700	700	13°S – 53°O
4	I – CL b	28-06/12UTC	12	700	700 – 600	13°S – 55°O
5	I – CL a	16-08/00UTC	6	700	700	10°S – 40°O
6	I – CL b	17-08/00UTC	12	700	700	12°S – 41°O
7	I – CL b	20-08/12UTC	12	700	700	14°S – 44°O
8	I – CL a	31-08/00UTC	12	700	700	10°S – 41°O

Na Tabela 4, registra-se os valores de vorticidade, velocidade vertical, espessura da camada (200-

500hPa, 500-700hPa e 700-1000hPa), umidade relativa e precipitação respectivamente dos casos

identificados do VCMN. Observa-se em todos os casos, os valores de vorticidade foram fracos e atingiram valores máximo de vorticidade  $-3,0 \times 10^{-5}$

$s^{-1}$  no caso de formação atípico (caso 3), com movimentos ascendentes chegando a  $-0,1 Pa.s^{-1}$ .

Tabela 4. Valores da estrutura e movimentos verticais do caso identificados do VCMN. Fonte: NCEP, 2018.

Caso	Tipo	Vort ( $\times 10^{-5} s^{-1}$ )	Vel Vert ( $Pa.s^{-1}$ )	200-500hPa	500-700hPa	700-1000hPa	UR (%)	Precip (mm/24h)
1	I – CL b	-1,0	0,05	Baroclinia fraca	Baroclinia fraca	Baroclinia fraca	20	6
2	I – CL a	-2,0	0,1	Onda Fria	Baroclinia fraca	Onda Fria	20	8
3	Atípico CS	-3,0	-0,1	Onda Quente	Onda Quente	Baroclinia Fraca	30	0
4	I – CL b	-2,5	0,2	Onda Quente	Onda Quente	Baroclinia fraca	60	4
5	I – CL a	-2,5	0,05	Onda Quente	Onda Quente	Onda Fria	10	12
6	I – CL b	-2,0	0,05	Onda Quente	Onda Quente	Onda Fria	20	0
7	I – CL b	-2,0	-0,05	Onda Quente	Baroclinia fraca	Baroclinia fraca	20	0
8	I – CL a	-2,0	0,05	Baroclinia fraca	Onda Quente	Onda Fria	10	0

Os processos de formação foram iguais nos dois modelos, onde a formação do VCMN foi somente na Corrente de Leste (Tipo I – CL). Nos casos onde a corrente vem do Norte (Corrente de Leste do Norte), a inclinação do cavado fica na orientação Noroeste para Sudeste (CL a), e nos casos onde a corrente de leste zonal, a inclinação do eixo fica na orientação Norte para Sul (CL b). Importante mostrar que os subtipos (I – CLa e I –

CLb) também, formas iguais em todos os casos pelos dois modelos. Além disso, define-se um caso atípico de processo de formação do VCMN, que ocorreu no caso 3 (26-06/06UTC), onde o cavado formou-se na Corrente de Sudeste, entre dois anticiclones (CS) com o cavado meridional da região equatorial (Figura 5). A análise detalhada deste caso foi apresentada no XX Congresso Brasileiro de Meteorologia - CBMET (2018).

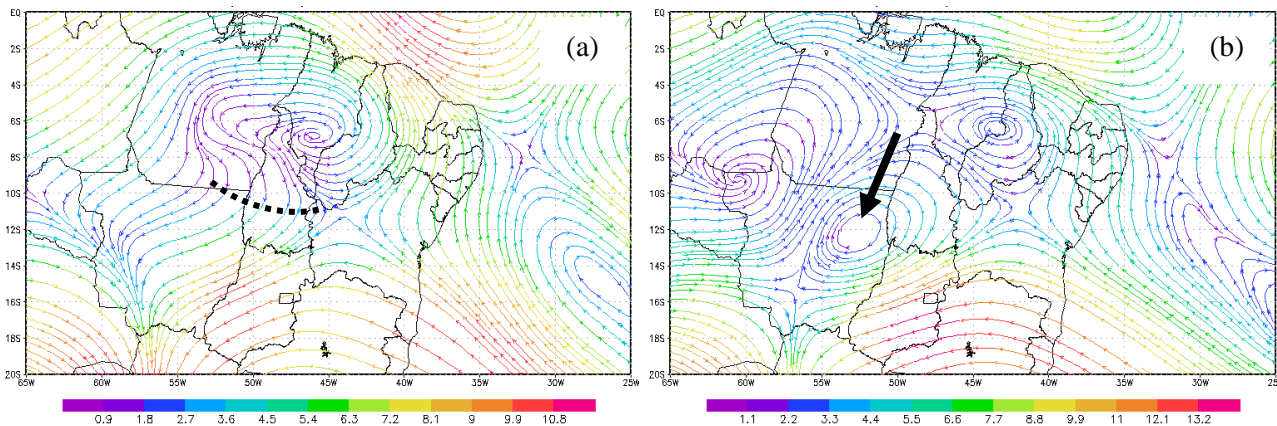


Figura 5. Campos compostos de magnitude do vento (cor) e escoamento (m.s-1), mostrando um exemplo do processo de formação atípico do VCMN. Figura (a), 26 de junho de 2017, às 06UTC. Figura (b) 26 de junho de 2017, às 12UTC. Fonte: NCEP, 2018.

Exemplo da análise de VCMN típico sobre o continente

Como exemplo apresenta-se o caso de formação e desenvolvimento de VCMN típico no dia 16 de agosto, às 00UTC. Este vórtice formou-se na Corrente de Leste do Norte com a inclinação

do eixo do cavado de Noroeste para Sudeste (Tipo I – CL a) (Figura 6a e 6c). No dia 16 de agosto, às 06UTC, foi verificado o centro do sistema em  $10^{\circ}S - 40^{\circ}O$ , com atuação no nível de 700hPa (Figura 6b e 6d); duração do vórtice foi 6 horas.

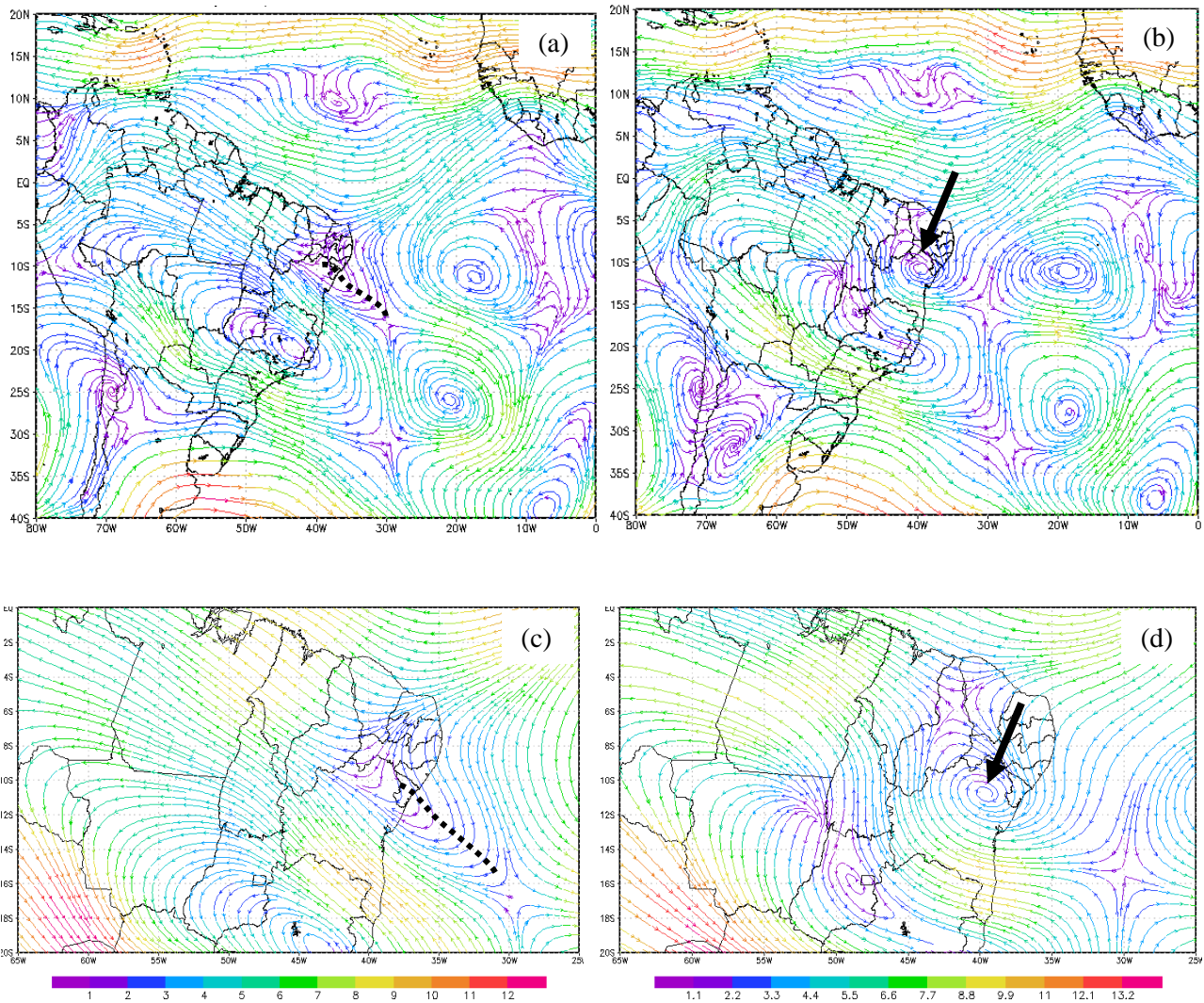


Figura 6. Campos compostos de magnitude do vento (cor) e escoamento (m.s-1), mostrando um exemplo do processo de formação do VCMN do Tipo I – CL a. Figura (a), dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC. Figura (b), dia 16 de agosto de 2017, às 06UTC. Fonte: NCEP, 2018.

#### Análise Estrutural e Movimentos Verticais

Na análise da estrutura e os movimentos verticais na pré- formação do VCMN, momento antes da formação do centro do sistema, como no momento que ele está formado, estabelece a área que delimita a circulação ciclônica como base para a região que o vórtice atua, e com isso, analisa-se

outras variáveis. Quanto à vorticidade, foi observado valores no pré- formação, ou seja, na atuação do cavado, em seguida, observa-se a vorticidade e os movimentos verticais no momento da formação do centro do vórtice (Tabela 5), ou seja, 6 horas depois da pré- formação.

Tabela 5. Vorticidade e Velocidade Vertical na pré- formação (cavado) às 00UTC e formação do VCMN em 700hPa às 06UTC. Fonte: Autor, 2018.

Modelo	Momento	Tipo	Vorticidade x 10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup>	Velocidade Vertical Pa s <sup>-1</sup>
NCEP	Cavado	CL a	-2,0	0,2
	Formação	CL a	-2,5	0,05
ECMWF	Cavado	CL a	-2,0	0,2
	Formação	CL a	-2,0	0,1

Para melhor representar a estrutura e os movimentos verticais no VCMN, seguindo como base a área da circulação ciclônica e a região de atuação do vórtice, observa-se a seguir, os valores

de vorticidade e velocidade vertical no centro e ao redor do VCMN, analisando a espessura da camada no nível de atuação (500-700hPa), como também

no nível acima (200-500hPa) e no nível abaixo (700-1000hPa).

Na pré- formação (Figura 7a), foi identificado um cavado no nível de 700hPa com a circulação ciclônica atingindo até  $-2 \times 10^{-5} s^{-1}$ , juntamente com movimentos descendentes ( $0,2 Pa. s^{-1}$ ) (Figura 7c), em toda área do cavado. Após 6

horas, observa-se a formação do centro do VCMN em  $10^{\circ}S - 40^{\circ}O$ , intensificou a vorticidade próximo ao centro para  $-2,5 \times 10^{-5} s^{-1}$  (Figura 7b), e com movimentos descendentes na área de atuação Figura 7d. Na figura 9, observa-se as seções verticais no centro do vórtice ( $10^{\circ}S - 40^{\circ}O$ ), com os movimentos verticais de baixos níveis até altos níveis da atmosfera.

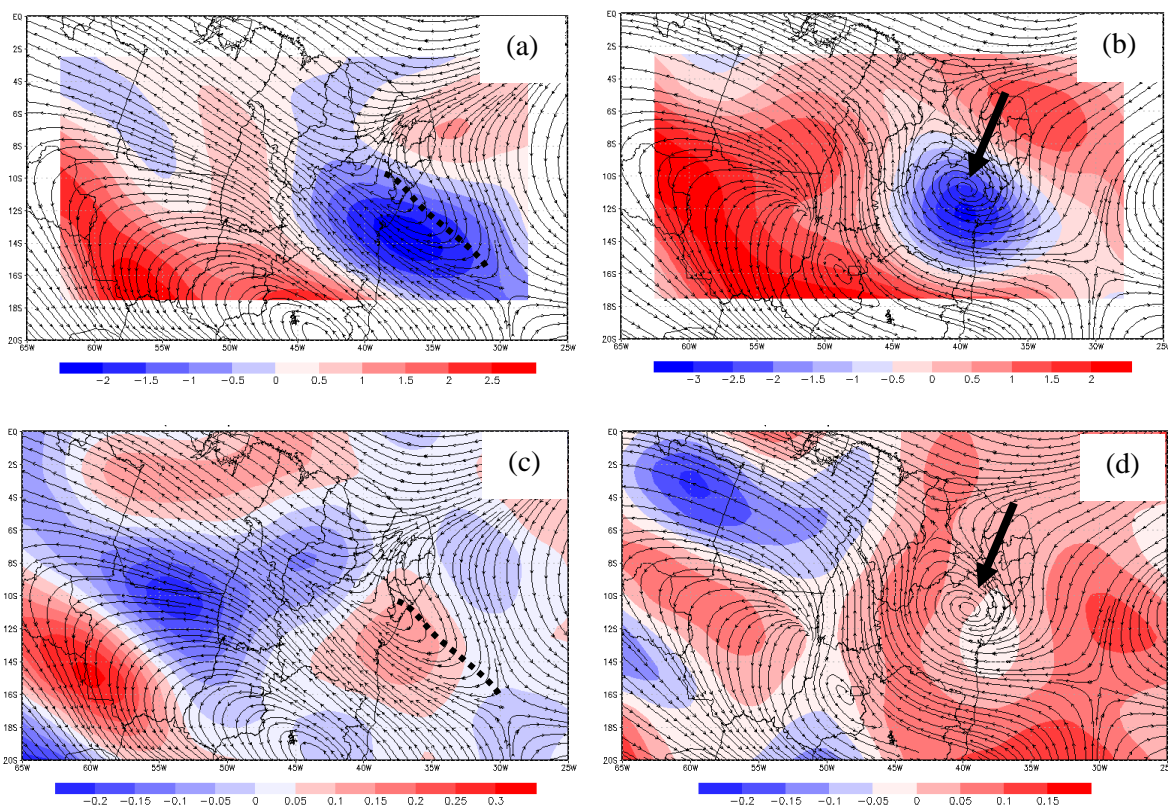


Figura 7. Campos compostos de linhas de corrente em 700hPa com vorticidade (a) e (b), velocidade vertical (c) e (d). Linha tracejado indicando a posição do cavado (pré- formação), seta mostrando posição do VCMN (formação). Fonte: NCEP, 2018.

Na Figura (8a, 8c e 8e) respectivamente, observa-se o VCMN em 700hPa, sobrepostas os campos de espessura da camada do cavado, abaixo e acima. Entre 700-1000hPa, ondas frias é observada em toda a área de atuação do cavado. Na camada de atuação, como na camada acima do VCMN é observado em toda a área do cavado, onda quente, caracterizando a formação do VCMN abaixo da onda quente. Na espessura da camada no nível de 500-700hPa, observa-se no VCMN uma onda quente em toda a área de atuação do centro do

vórtice (Figura 8b), e um onda fria entrando pela retaguarda. Essa diferença, caracteriza uma zona baroclínica. Na espessura da camada no nível abaixo da atuação do vórtice (700-1000hPa), já que em baixos níveis não tem circulação ciclônica, observa-se a entrada da onda fria em direção ao centro do vórtice, proveniente da região sul (Figura 8d). E na espessura da camada no nível acima 200-500hPa, observamos uma homogeneidade para a região do vórtice, onde, observa-se uma onda quente (Figura 8f).

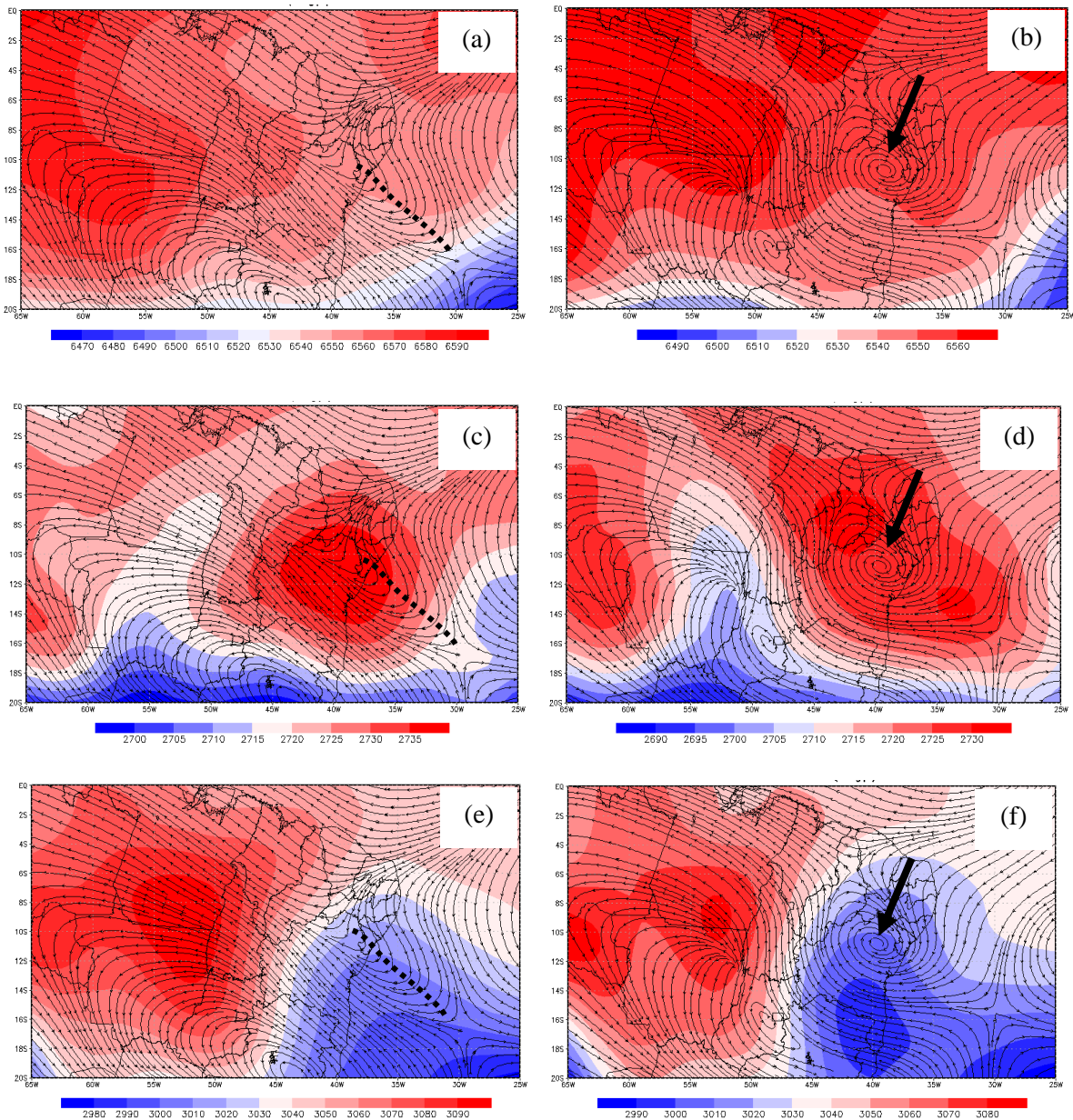


Figura 8. Campos compostos de linhas de corrente e espessura da camada 200-500hPa (a) e (b), espessura da camada 500-700hPa (c) e (d) e espessura da camada 700-1000hPa (e) e (f), mostrando o momento de pré- formação e formação do VCMN. Linha tracejado indicando a posição do cavado (pré- formação), seta mostrando posição do VCMN (formação). Fonte: NCEP, 2018.

Na Figura 9, as seções verticais com latitude fixada no centro do vórtice ( $10^{\circ}\text{S}$ ) e ao longo da longitude  $26^{\circ}\text{O}$ - $45^{\circ}\text{O}$ , mostro o VCMN, na atuação do cavado, no dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC (Figura 9a), observa-se movimentos descendentes de altos níveis até o nível de 800hPa, atingiu  $0,08 \text{ Pa.s}^{-1}$ . Durante a atuação do VCMN, às 06UTC (Figura 9b), observa-se movimentos

descendentes fracos, no nível de 700hPa, com valores de  $0,02 \text{ Pa.s}^{-1}$ , com movimentos ascendentes acima, que atingiu  $-0,08 \text{ Pa.s}^{-1}$ . Observa-se em baixos níveis, movimentos ascendentes até 900hPa com valores de  $-0,02 \text{ Pa.s}^{-1}$ . Os movimentos descendentes predominam em grande parte da camada, tornando a atmosfera seca, e favorecendo a dissipação do VCMN (Figura 9c).

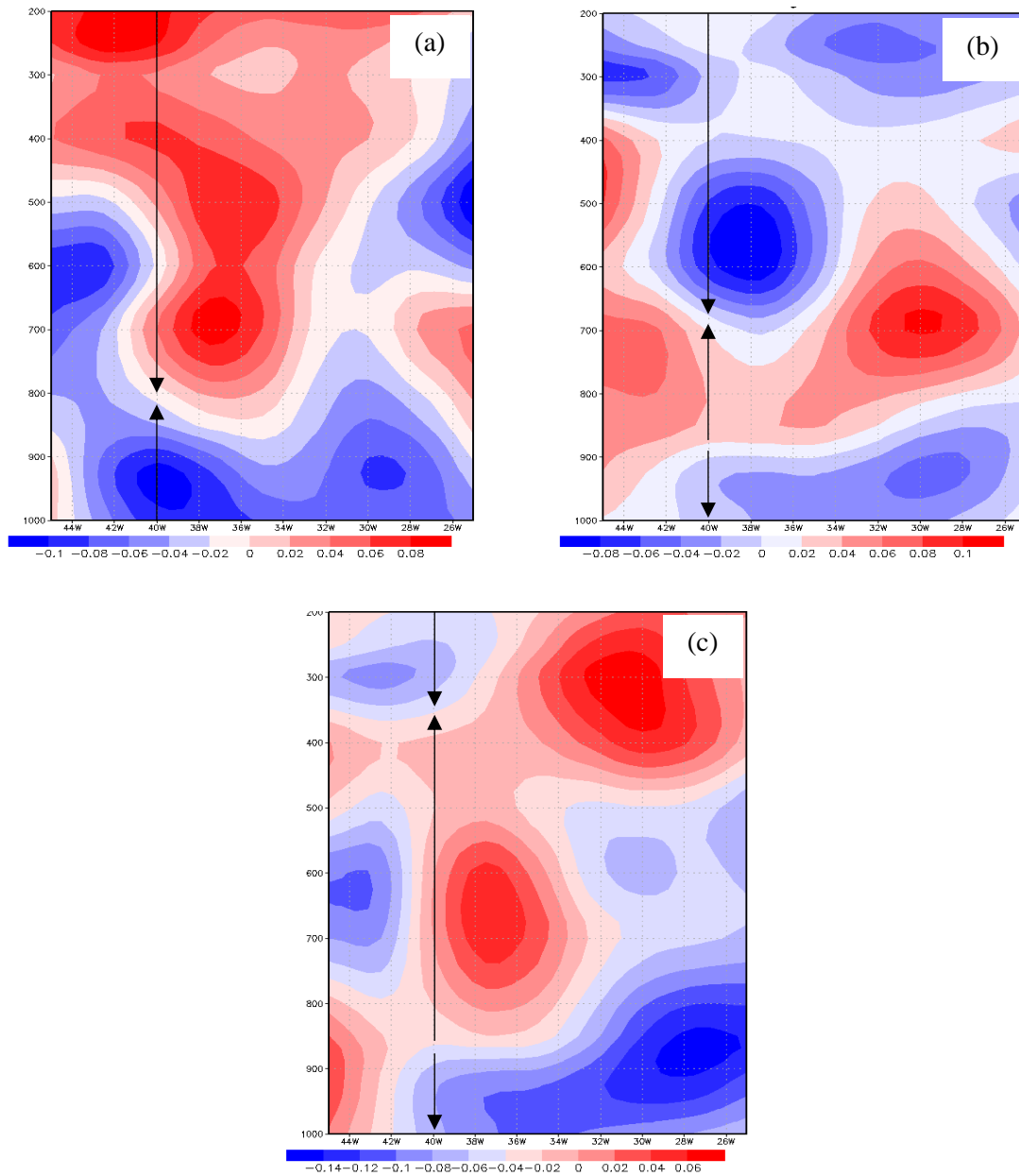


Figura 9. Seções Verticais do VCMN no dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC (Cavado) (a), às 06UTC (formação) (b) e as 12UTC (dissipação) (c). Fonte: NCEP, 2018.

#### Umidade no VCMN

Na Figura 10a, na pré-formação do VCMN, nota-se o eixo do cavado centralizado em uma zona com regiões secas. Na área de atuação do cavado, os valores de umidade chegam a 10%,

enquanto ao leste e ao oeste atinge 70%. Durante o período de atuação até a dissipação (Figura 10b e 10c), no centro do vórtice, predomina uma atmosfera seca, com valores de umidade abaixo de 20%, ajudando a dissipar o VCMN.

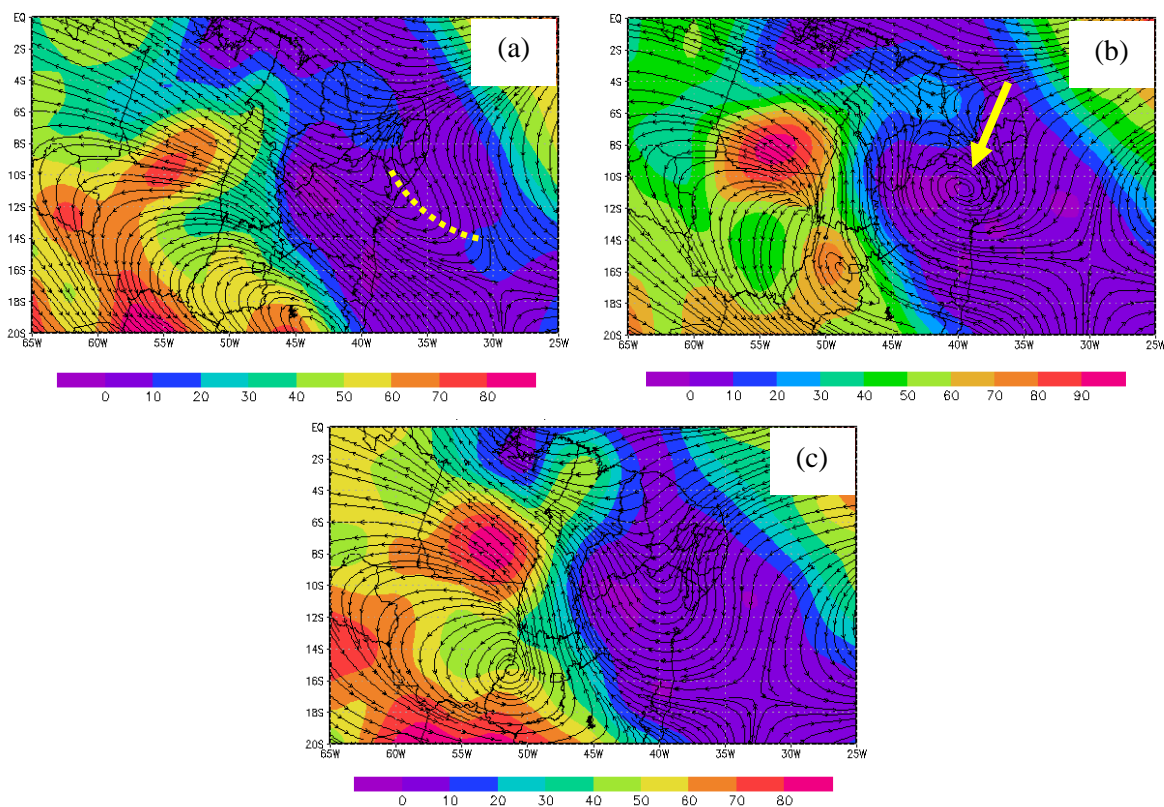


Figura 10. Linhas de Corrente e Umidade em 700hPa no dia 16 de agosto de 2017, às 00UTC (Cavado) (a), às 06UTC (formação) (b) e as 12UTC (dissipação) (c). Fonte: NCEP, 2018.

#### Perfis Verticais e Nebulosidade

Os perfis verticais simulados para dois horários distintos, 00Z (Figura 11a) e 06Z (Figura 11b), se mostraram semelhantes, pois, apresentaram alta umidade relativa do ar próximo à superfície no cavado (00Z) e na formação (06Z)

do VCMN, e secos a partir dos médios níveis (700hPa), até altos níveis da atmosfera. Para o CAPE+, com valores de 1 e 6 respectivamente, nota-se que o VCMN não possui energia favorável para a convecção.

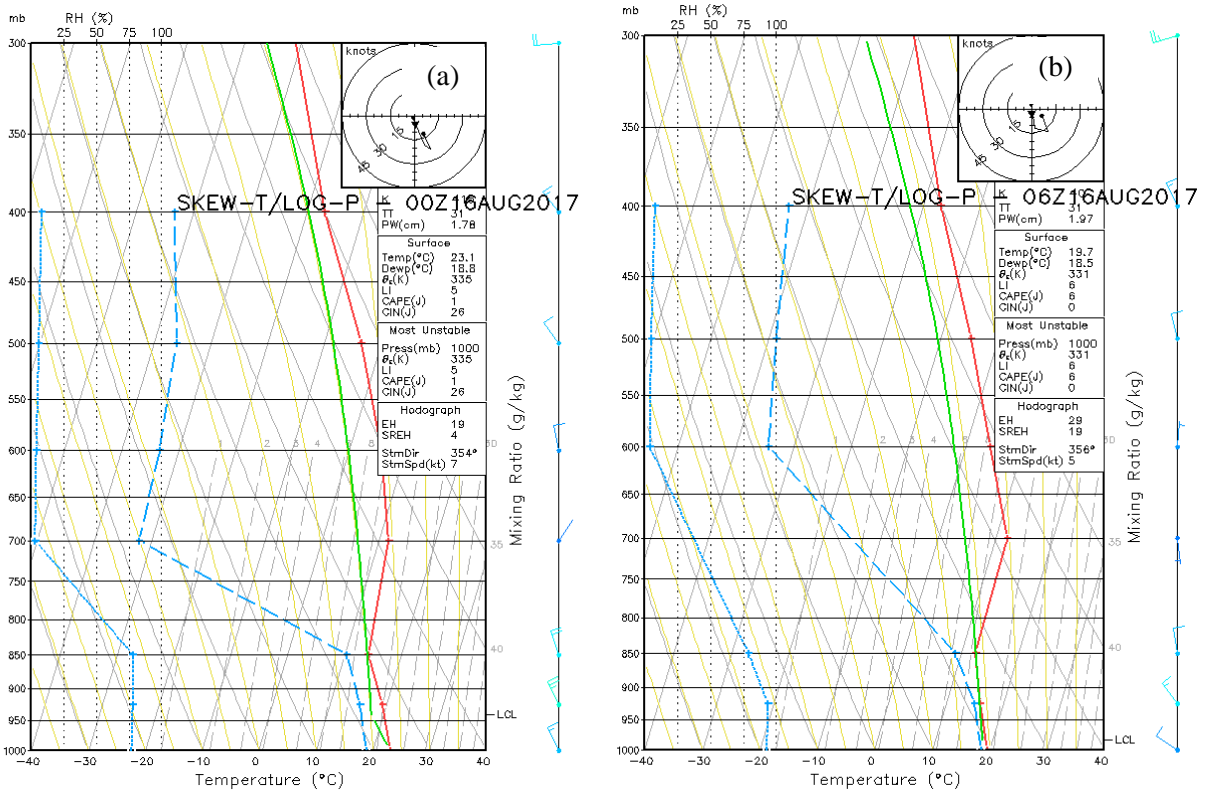


Figura 11. Perfil Vertical Simulado para o centro do VCMN (10S – 40W) para o dia 16 de agosto de 2017. Fonte: NCEP, 2018.

Quanto à nebulosidade associada ao VCMN, observa-se às 06UTC do dia 16 de agosto de 2017 (Figura 12a), no momento da atuação do vórtice, foi verificada fraca nebulosidade na região, com nuvens de baixos níveis no centro do sistema, conforme certificado nos movimentos

verticais, ou seja, nuvens stratoscumulus. Às 18UTC do dia 16 de agosto de 2017 (Figura 12b), no momento da dissipação do sistema, é observado pouca nebulosidade na região. Apesar de nebulosidade fraca, a mesma obteve duração de aproximadamente 6 horas.

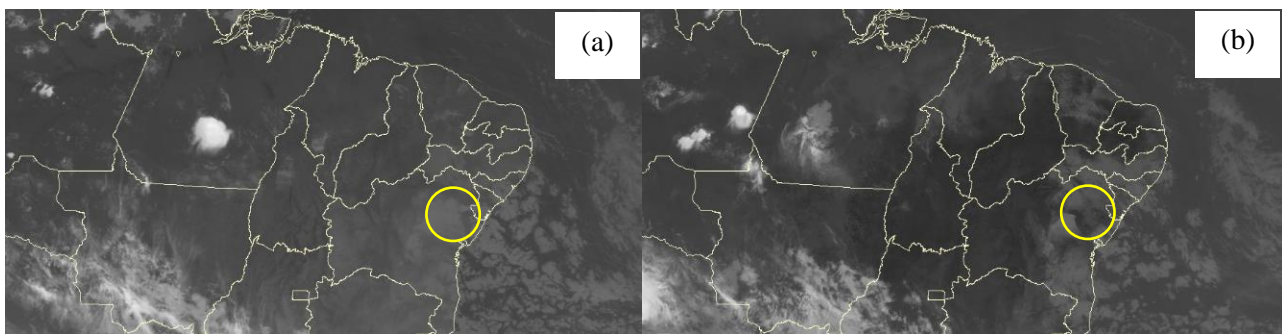


Figura 12. Imagens de satélite, canal IR mostrando a localização do VCMN (círculo), no dia 16 de agosto de 2017 às 06UTC (a), momento de atuação do sistema e às 12UTC (b), momento da dissipação do sistema. Fonte: CPTEC, 2017.

**Precipitação Associada ao VCMN**

Na avaliação da precipitação associada ao VCMN, nota-se na Figura 13, que na vanguarda do

sistema, foi observado valores de precipitação em torno de 12mm/24h no dia 16 de agosto de 2017.

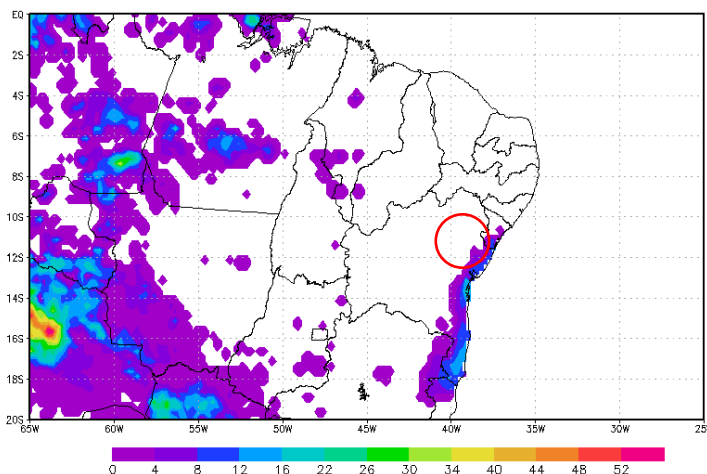


Figura 13. Dados de precipitação (mm/24h), no dia 16 de agosto de 2017, obtidos através do projeto CHIRPS, círculo vermelho demarcando a posição de atuação do VCMN. Fonte: CHIRPS, 2017.

## Conclusões

Durante o ano de 2017 foram identificados 8 casos de formação do VCMN nas latitudes de 0° e 20°S e as longitudes de 35°O a 30°O. Nota-se a atuação preferencial no nível de 700 hPa (para os dois modelos utilizados), com dois casos que aprofundaram, e atingiram o nível 600 hPa. A duração média dos casos de VCMN é de 12hrs, mas com casos identificados com duração entre 6-30hrs (variação identificada para cada modelo). A duração dos 3 casos é de 6 horas a menos pelo modelo NCEP em relação ao registrado pelo modelo do ECMWF.

No período de pré-formação e na formação do VCMN foram observados os valores de vorticidade fracos, entre -1 e  $-3 \times 10^{-5} s^{-1}$ . Existência onda de calor (6 casos) e de baroclinia fraca (2 casos) na camada de circulação ciclônica e onda de calor acima do VCMN foi confirmado em 5 casos. Além disso, foi identificado que VCMN foi formado acima da zona baroclínica ou onda fria em baixos níveis.

Os movimentos verticais no VCMN foram fracos e localização das regiões com movimentos ascendentes foram diferentes nos casos analisados e, por isso, não foi possível estabelecer um único padrão de movimentos verticais.

Nota-se que os VCMN estão associados a regiões bastante secas no nível de 700-400hPa. As seções verticais mostram a atmosfera predominantemente seca no nível de atuação, durante o período de pré-formação até sua dissipação.

Os processos de formação de VCMN sobre o continente apresentou na maioria dos casos (em 7 casos) formação na Corrente de Leste (Tipo I – CL), sendo que 3 casos na corrente de leste do

Norte, onde o cavado tem orientação Noroeste para Sudeste e 4 casos na Corrente de Leste zonal, onde o cavado tem orientação Norte para Sul. Além disso foi identificado um novo tipo de processo de formação do VCMN: formado no cavado na Corrente de Sudeste, em torno de dois anticiclones (Caso 3).

Apesar de identificado a relação do VCMN com precipitação no NEB, algumas características sinóticas desses sistemas ainda são desconhecidas. Portanto, devem-se estudar esse sistema, visando melhorar e aprimorar a previsão, descobrindo sua influência na precipitação e, em vários outros fenômenos adversos.

## Referências

- Citeau, J., Bergés, J.C., Demarcq, H., Mahé, G. 1988. Position de la zone de convergence a 28°N ET température de surface de l'océan. *Veille Climatique Satellitaire* 21, 3-7.
- CPTEC. Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos, 2018. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes16.formulario.logic>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- CHIRPS. Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data, 2018. Disponível em: <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- Coutinho, M.D.L., Fisch, G. 2007. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. *Revista Brasileiro de Meteorologia* 22, 193-203.
- Coutinho, M.D.L; Gan, M.A.; Rao, V.B. 2010. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical

- Sul: validação. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 311-323.
- ECMWF. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Project Era-Interim, Daily. Disponível em: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- Emanuel, K.A. 1994. *Atmospheric convection*. New York, Oxford University Press. 592p.
- Fedorova, N., Gemiacki, L., Carvalho, L.C., Levit, V., Rodrigues, L.R.L., Costa, S.B. 2006. Frontal Zone on the North-East of Brazil. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)* 8, 1765-1768.
- Fedorova, N., Santos, D.M.B., Segundo, M.M.L., Levit, V. 2016. Middle Tropospheric Cyclonic Vortex in Northeastern Brazil and the Tropical Atlantic. *Pure Appl. Geophys* 173, 1-15.
- Fedorova, N., Levit, V., Cruz, C.D. 2016. On frontal zone Analysis in the tropical region of the Northeast Brazil. *Pure Appl. Geophys* 173, 1403-1421.
- Gallego, D., Ribera, P., García-Herrera, R., Hernandez, E. 2005. A new look for the Southern Hemisphere jet stream. *Climate Dynamics* 24, 607-621.
- GrADS. GRID analysis and Display System: Overview of GrADS, 2014. Disponível em: <http://opengrads.org/doc/>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- Kousky, V. E. 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 107, 1140-1153.
- Kousky, V. E., Gan, M.A. 1981. Upper tropospheric cyclonic vórtices in the tropical South Atlantic. *Tellus* 33, 538-551.
- Lyra, G.B.; Oliveira-Júnior, J.F.; Zeri, M. 2014. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. *International Journal of Climatology* 34, 3546-3558.
- NCEP. 40-Year Reanalysis Project: March 1996 BAMS, 2018. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- Milhahn Júnior, A.W. 2013. Corrente de jato e sistemas sinóticos associados aos complexos convectivos de mesoescala no Nordeste Brasileiro. Trabalho de Conclusão de Curso. Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- Molion, L. C. B., Bernado, S.O. 2002. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 17, 1-10.
- Pampuch, L.A.; Ambrizzi, T. 2016. Sistemas Frontais sobre a América do Sul, Parte II: Monitoramento mensal em dados da reanálise do Ncep/Ncar. *Ciência e Natura* 38, 105.
- Paredes, F.T.; Barbosa, H.A.; Kumar, L.V. 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments* 139, 26-40.
- Pontes da Silva, B. F., Fedorova, N., Levit, V., Peresetsky, A. 2011. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 295-310.
- Ramirez, M.C.V. 1996. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). São José dos Campos, INPE.
- 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. Dissertação (Mestrado). Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- Rodrigues, L.R.L., Fedorova, N., Levit, V. 2010. Adverse meteorological phenomena associated with low level baric troughs in the Alagoas state in 2003. *Atmospheric Science Letters* 11, 204-209.
- Santos, D.M.B. 2012. Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN): Uma análise de frequência e estrutura. Dissertação (Mestrado). Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- Santos, J.S.; Mota, M.A.S. & Rocha, E.J.P. 2014. Classificação climatológica da Energia Potencial Disponível para a Convecção na cidade de Belém – PA. *Revista Brasileira de Meteorologia* 29, 60-72.
- Silva, T. G., 2017. Formação dos Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis. Dissertação (Mestrado). Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- Silveira, M.H.S. 2012. Análise termodinâmica dos complexos convectivos de mesoescala atuantes na costa leste do nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado). Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- Teixeira, R.F.B. 2016. Satélites meteorológicos: imagens, aplicações e curiosidades. Fortaleza: Tipografia Íris. 192p.
- Uvo, C. R. B., Nobre, C.A. 1989. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte 1: A posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. *Climanálise* 4, 34-40.
- Vemado, F., Pereira Filho, A.J. 2016. Severe Weather Caused by Heat Island and Sea Breeze

Effects in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. *Advances in Meteorology*. 1-13.  
Xavier, T.M.B.S., Xavier, A.F.S., Dias, P.L.S.,  
Dias, M.A.F.S. 2000. A zona de convergência

intertropical – ZCIT e suas relações com a  
chuva no Ceará. *Revista Brasileira de  
Meteorologia* 15, 27-43.