

OS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA, AS SUPERCÉLULAS E AS TEMPESTADES NO PARANÁ – O ESTUDO DE CASO

THE MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEXES, THE SUPERCELLS AND THE STORMS IN THE STATE OF PARANÁ - A CASE STUDY

Victor da Assunção BORSATO¹
Nair Glória MASSOQUIM²
Daniele Uber RODRIGUES³

Resumo: A região oeste do estado do Paraná é a mais atingida por tempestades, haja vista a localização geográfica e também a configuração dos sistemas atmosféricos que propiciam as tormentas. No dia 23 de março de 2018, uma tempestade decorreu sobre o município de Cafelândia-Pr, com danos na vegetação, nas edificações e nas lavouras. Estudaram-se as condições sinóticas que precederam o evento, cujo objetivo foi identificar a(s) massa(s) de ar(es) que atuava(m) e também, sondar se o episódio foi desencadeado por um Complexo Convectivo de Mesoescala ou por uma supercélula e instigar “se era um tipo de tornado ou microbursts, dessa forma contribuir para o debate, a reflexão e o conhecimento no campo da climatologia Geográfica. Por meio da leitura das cartas sinóticas da Marinha do Brasil e pelo rastreamento sequencial das imagens de satélite *Goes 16 – canal_15*, verificou-se que uma sucessão de supercélulas evoluíram a partir do final do dia 22 de março e se deslocaram a partir do Paraguai para o Paraná. Nessa sequência, a terceira supercélula evoluiu sobre a região e gerou a tempestade em Cafelândia- PR, classificada como um microbursts.

Palavras-chave: estacionalidade climáticas; climatologia dinâmica; massas de ares.

Abstract: The western of Paraná is the state region most affected by storms, particularly due to the geographic location and the configuration of the atmospheric systems that promote the strong episodes. On March 23th, 2018, a storm struck the city of Cafelândia-Pr, causing damage to vegetation, buildings and crops. We studied the synoptic conditions just before the event, with the aim of identifying the air mass(es) that acted and also to assess if the episode was triggered by a Mesoscale Convective Complex or by a Supercell and instigate "whether it was a type of tornado or microburst, thereby contributing to debate, reflection and knowledge in the field of geographic climatology. Exploiting the Brazilian Navy's synoptic charts and performing a sequential tracking of the satellite images from *Goes 16 - channel 15*, we found out that a succession of supercells evolved from the end of March 22th and moved from Paraguay to the state of Paraná. In that sequence, the third supercell evolved over the region, originating the storm in Cafelândia-PR, classified as a microburst.

Keywords: climatic seasonality; dynamic climatology; air masses.

Introdução

A região oeste do estado do Paraná é a porta de entrada da massa Tropical continental, a qual se caracteriza pela elevada temperatura, baixa pressão atmosférica e de baixa umidade

¹ Doutor em Ciências Ambientais e professor Associado do Colegiado de Geografia da UNESPAR campus de Campo Mourão – Associado da ABClima – victorb@fecilcam.br. Ou victordaborsato@gmail.com

² Doutora em Geografia e professora do Colegiado de Geografia da UNESPAR – campus de Campo Mourão - nmassoquim@gmail.com

³ Especialista em geografia e estagiária do Laboratório de Climatologia da UNESPAR de Campo Mourão

relativa. Ainda que, a baixa umidade não seja uma característica constante, a região, frequentemente é abastecida por umidade pela Corrente de Jato de Baixo Nível (JBN) (MARENGO, 2009). Segundo Reboita (2012), o JBN é um fenômeno importante para a precipitação no Sul do Brasil e na região do Grande Chaco. Essa corrente transporta umidade da região norte do Brasil, a qual contribui para a formação dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Outras condições sinóticas que também atuam com frequência na Região Sul do Brasil é as correntes de Jatos de Altos Níveis. Para o CPTEC-INPE, 2018:

Em altos níveis da atmosfera, próximo à tropopausa, existe uma região onde a componente do vento zonal, de oeste, atinge valores máximos. Este componente aumenta com a altura devido à existência de gradientes meridionais de temperatura. O escoamento caracterizado por valores máximos é denominado de Corrente de Jato ou simplesmente Jato (...) (Pezzi, et al., 2018).

Essa corrente, segundo Grimm (2018), atua na manutenção das tempestades em escalas sinóticas. Ela está ligada à produção de convergência e divergência em alto nível da atmosfera.

Em altitudes, as camadas são comandadas pelos movimentos e forças dos ventos, das cristas e cavados em altitudes. Considerando-se que o Estado do Paraná está posicionado em uma região de intensificação dos ventos em altitudes, por isso, diversos fatores interagem, desencadeando perturbações atmosféricas. Além das duas correntes citadas, é interessante acrescentar que na borda oeste do continente sul americano há uma barreira natural, a Cordilheira do Andes, a qual impede a circulação leste/oeste dos ventos de baixos níveis, por isso o escoamento sul/norte ou norte/sul é dinamizado na borda leste dos Andes.

Seluchi e Marengo (2000) sugerem que o transporte de umidade entre os trópicos e extra trópicos seja bastante intenso no Hemisfério Sul devido à presença da Cordilheira dos Andes. Ainda na costa oeste, na borda leste dos Andes na altura do trópico de Capricórnio surge uma baixa térmica, a baixa do Chaco, mais ativa no verão (SELUCHI e SAULO, 2012). Essa baixa interage-se com os sistemas de cavados, com as correntes de jatos e também com os anticiclones polares. Por isso, essa região também é o berço dos ciclogêneses.

No inverno, a região Sul é frequentemente invadida por sucessivos anticiclones polares que impõem as suas características para o interior do continente, dias depois, lentamente, os anticiclones escoam para leste, acompanhando o escoamento zonal (BORSATO, 2016).

No período em que a alta pressão domina os estados do tempo no interior do continente, não raro, cavados transientes transpõem a Cordilheira dos Andes e se manifestam em alguma faixa no Sul do Brasil. Como na porção frontal do cavado onde o ar quente e úmido é levantado, a atmosfera é instabilizada com abundante nebulosidade e precipitações torrenciais (CPTEC, 2018).

Esses cavados podem contribuir na evolução dos ciclogêneses no Sul do Brasil ou evoluir, causando linhas de instabilidades. Embora, frequentemente, as instabilidades causadas nessas ocasiões evoluem na forma de Complexos Convectivos de Mesoescala que são definidos como um aglomerado de nuvens cumulonimbus, por apresentar forma circular e com forte desenvolvimento vertical. Para ser caracterizado como CCM, o tempo de vida deve ser superior a 6 horas (SIVA DIAS, 1996). Os CCM associam-se a eventos severos de precipitação, fortes rajadas de ventos e até queda de granizo, muito recorrentes no estado do Paraná.

Em março de 2018, um evento severo foi registrado no município de Cafelândia PR. com danos às edificações, principalmente na zona rural, queda de árvores e de três torres de transmissão de energia.

Esse episódio foi estudado por meio das análises das imagens de satélite *Goes- 16* e também das cartas sinóticas da Marinha do Brasil, analisaram-se as condições sinóticas para o Sul do Brasil, cujo objetivo foi verificar-se a gênese da tempestade desencadeou se a partir da evolução de um CCM ou de uma sucessão de supercélulas, e também identificar a massa de ar que favoreceu o desencadeamento de tal fenômeno para, por fim, verificar a contribuição da corrente de Jato de Baixo Nível na umidificação do ar.

O principal objetivo da investigação foi acompanhar a evolução dos estados do tempo para identificar a gênese da tempestade, que podem ocorrer na evolução de um CCM ou se desencadear a partir de uma supercélula.

Revisão Bibliográfica

As características geográficas e a posição latitudinal propiciam a alternância de massas de ar que avançam para a região e dominam os estados do tempo, há também inúmeros sistemas atmosféricos que podem instabilizá-las, sendo os Complexos Convectivos de Mesoescala, o desenvolvimento de supercélulas, linhas de instabilidade e os sistemas frontais os mais frequentes.

As bibliografias com resultados de pesquisas sobre os CCM são, na grande maioria, elaboradas pelos meteorologistas, por isso são raros os trabalhos que abordam a climatologia das chuvas, consequência da evolução dos CCM para o estado do Paraná.

Na América do Sul, os CCM manifestam-se na faixa entre as latitudes de 20°S a 40°S, compreendendo boa parte do continente Sul-Americano (Paraguai, Uruguai, região central da Argentina e Sul do Brasil). Segundo Velasco (1987), essas áreas são as de ocorrências e seus processos dinâmicos e termodinâmicos são fortemente influenciados pela cadeia de montanhas dos Andes.

A região de estudo encontra-se em uma ampla faixa que apresenta uma grande amplitude estacional, posicionada na faixa de latitude que surgem os CCM. Também nessa região, atuam os sistemas de baixa pressão, representados pelas massas Tropical continental e Equatorial continental, mais intensificadas nos meses mais quentes. Os CCM são mais ativos nos meses da primavera, mas ocorrem, em menor frequência, no outono e no verão.

A massa Tropical continental é um sistema com ventos ciclônicos e semi-temporário, ou seja: ela ressurge, na maioria das vezes, com o envelhecimento da mPa. À medida que, a mPa escoar para o leste, os ventos anticiclônicos desse sistema, ao contornarem o centro da alta pressão a partir do litoral, percorrem longos trechos continentais, assimilando as características e aquecendo-se em função da já baixa latitude. Padilha (2008) considera que a ampliação e o avanço da mTc a partir do oeste da região central do Brasil se dá pelo envelhecimento (modificação) da massa Tropical atlântica.

A mTc tem seu centro de origem na “Baixa do Chaco”, ou seja, na região do Grande Chaco. Área de baixa pressão atmosférica, a qual se alonga no leste da cordilheira dos Andes, entre a bacia amazônica e o noroeste da Argentina, facilmente visualizada nos campos médios de pressão reduzida ao nível do mar, cujo centro localiza em aproximadamente 23°S e 60°O. Para Monteiro (2007, p. 47) “Essa baixa pressão é denominada de baixa do Chaco, baixa continental ou baixa do interior”. Segundo o mesmo autor, a maior frequência da mTc na Região Sul, principalmente em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, ocorrem nos meses de

janeiro e fevereiro. Enquanto que as pequenas estiagens, frequentes nos meses de janeiro e fevereiro no Sul do Brasil, são consequências da atuação da mTc no estado do tempo (HERRMANN, 2001).

O estado do Paraná, localizado na região Sul do Brasil, experimenta a ação de cinco massas de ar e, como ele é atravessado pelo paralelo do trópico de Capricórnio, a estacionalidade é marcante, sendo o inverno caracterizado pelo predomínio dos sistemas de alta pressão, e o verão, pelos de baixa (BORSATO, 2016). Nas estações intermediárias, ora dominam sistemas de baixa, ora de alta pressão.

Os episódios de ventos intensos e chuvas com queda de granizo ocorrem preferencialmente na zona frontal. Levantamentos preliminares mostram que nas estações intermediárias, outono e primavera existem mais registros. Segundo estudos das Furnas Centrais Elétricas, 49 torres de transmissões foram tombadas com vendavais no estado do Paraná de 2002 a 2006 (OLIVEIRA, 2007), a grande maioria ocorreu na estação da primavera. Ainda, segundo o autor op. cit., o vento máximo de projeto dessas estruturas até 1999 era de 150 Km/h e foi elevada à 182 Km/h (50,56m/s), devido à instalação de reforço nas bases das estruturas das torres (OLIVEIRA, 2007 p. 3).

Quatro torres do circuito 3 da Linha de Transmissão Foz do Iguaçu-Ivaiporã (765 kV) foram derrubadas na manhã desta quarta-feira (24), em Cafelândia, em consequência de tempestade com fortes rajadas de vento que atingiram a região Oeste (TERRA NOTÍCIAS, 2018 p.1).

As torres têm 14 toneladas e mais de 40 metros de altura e foram construídas para resistir a ventos de até 150 km/h. As estruturas haviam recebido um reforço para suportar rajadas de até 190 km/h, conforme a estatal, mas mesmo assim não resistiram às rajadas de vento (G1, 2018 p.1)

As torres cruzam o estado do Paraná no sentido sudoeste-nordeste e oeste-leste, por essa razão, qualquer episódio de ventos extremos que ocorram em sua extensão pode danificar e tombar algumas delas. Mesmo quando uma única torre seja atingida pelo vento, outras também tombam, arrastadas pelos cabos condutores de energia.

Metodologia

A dinâmica dos sistemas atmosféricos para o estado do Paraná é dominado basicamente por quatro massas de ar e pelos Sistemas Frontais. As massas de ar se alternam, sendo que nos meses mais frios prevalecem as de alta pressão, por outro lado, no verão são as de baixa pressão que predominam.

A dinâmica da circulação para a região de estudo foi investigada na escala sinótica e analisada, também para a escala local, especialmente para o município de Cafelândia Paraná, cujas coordenadas são: -24°38' e -53°19'.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala e as supercélulas foram identificados nas imagens de satélite *Goes-16* e a massa de ar, nas cartas sinóticas da Marinha do Brasil.

Durante a atuação da mTc, massa de ar quente, de baixa pressão atmosférica e baixa umidade relativa, os estados do tempo podem não apresentar as características padrões dessa massa de ar. Os estados do tempo dependem também das condições meteorológicas em altos níveis da atmosfera, como os cavados e a atuação do JBN ela poderá se instabilizar e organizar condições para a evolução dos CCM ou supercélulas. Por isso, foram analisadas as cartas sinóticas para os dias 21, 22 e 23 de março, e por meio do mapa do Global Forecast

System - National Centers for Environmental Prediction (GFS / NCEP / US National Weather Service. Esse Instituto disponibiliza, em tempo real, a configuração dos ventos em diversos níveis da atmosfera. Acompanhou-se em 850 hPa, canal umidade, disponível em <<https://earth.nullschool.net/about.html>> (BECCARIO, 2018).

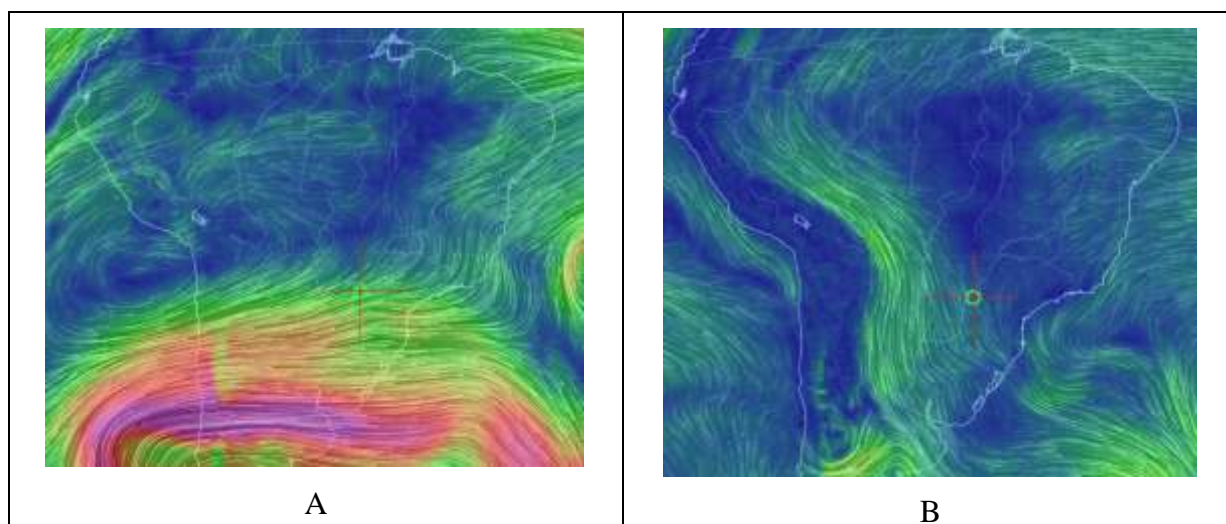
Resultados

Os meios de comunicação e também o Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar) divulgaram que no dia 23 de março de 2018, o município de Cafelândia foi palco de tempestades com rajadas de vento, queda de granizo e chuva intensa, as quais causaram danos às edificações, à vegetação e também derrubaram torres de transmissão de energia.

A carta sinótica do dia 21 mostra que o estado do Paraná estava sob o domínio da massa Tropical continental, a pressão lida na carta para a área de estudo oscilava em 1012 hPa. Nesse dia, uma “onda frontal” avançou pelo Sul do país, a frente fria a ela acoplada encontrava-se no litoral da região Sul, e o anticiclone com vórtice central na província de Buenos Aires com alta de 1024 hPa. Esse padrão sinótico está em conformidade ao apresentado por Nascimento et al. (2010).

No dia 22, a análise sinótica aponta para uma situação de acoplamento entre o Jato Subtropical de Alto Nível e o Jato de Baixo Nível (Figura 01 A e B), também um cavado invertido em alto nível. Essas condições propiciam alta taxa de instabilidade atmosférica (NASCIMENTO, 2004; NASCIMENTO et al, 2010). Também se observou baixa nebulosidade, principal característica da mTc.

Figura 01 – “A”= recorte da imagem do dia 23 de março 2018, às 17h (*National Weather Service - GFS / NCEP / US National Weather Service*). Em “A” 500 hPa, a região de estudo (assinalada), ela encontra-se na borda norte da Corrente de Jato Subtropical; em “B” recorte da imagem para 850 hPa, a região de estudo (assinalada) está na borda esquerda da Corrente de Baixo Nível.



Já no final do dia 22, observou-se um núcleo convectivo na divisa dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e Paraguai. A imagem *Goes 16* – canal_15 (13,30 microns) das 23h30min do dia 22 mostra esse núcleo com aproximadamente um grau de diâmetro e uma abrangência de 1200 km², aproximadamente (Figura 2 “A”). Nesse estágio, as características

não atendem a configuração de uma célula classificada como CCM. Segundo Maddox (1980) algumas condições devem ser satisfeitas; área superior a 100.000Km², topo das nuvens com temperatura igual ou inferior a -32°C e com área mínima de 50.000Km². Essas condições devem durar no mínimo seis horas e a excentricidade, na fase de maior expansão, não deve ser superior a 0,7.

Como não atendeu todas as características de um CCM. Verificou-se que o episódio tratava de células de Cumulonimbus “supercélula”. Nuvens com grande desenvolvimento vertical e que podem desencadear tempestades, embora elas tenham duração efêmera, ou seja, no máximo duas horas (BLAIR e FITE, 1964). Como a duração ultrapassou 12h, interpretou-se se tratar de uma sequência de supercélulas. O acompanhamento, por meio das imagens *Goes* no canal ch 15, mostra a evolução de quatro supercélulas.

Ao analisar a evolução dessas supercélulas, constatou-se que a primeira manifestação convectiva evoluiu a partir das 19h do dia 22, no Paraguai, próximo da divisa dos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul (Figura 02 “A”). A supercélula inicial escoou na direção sudeste e às 21h encontrava-se na fronteira do Paraná com o Paraguai (Figura 02 “B”). Ao avançar sobre o território paranaense se desintensificou e uma nova célula ressurgiu na retaguarda, ou seja, no extremo sul do Mato Grosso do Sul, fronteira com o estado do Paraná (Figura 02 “C”).

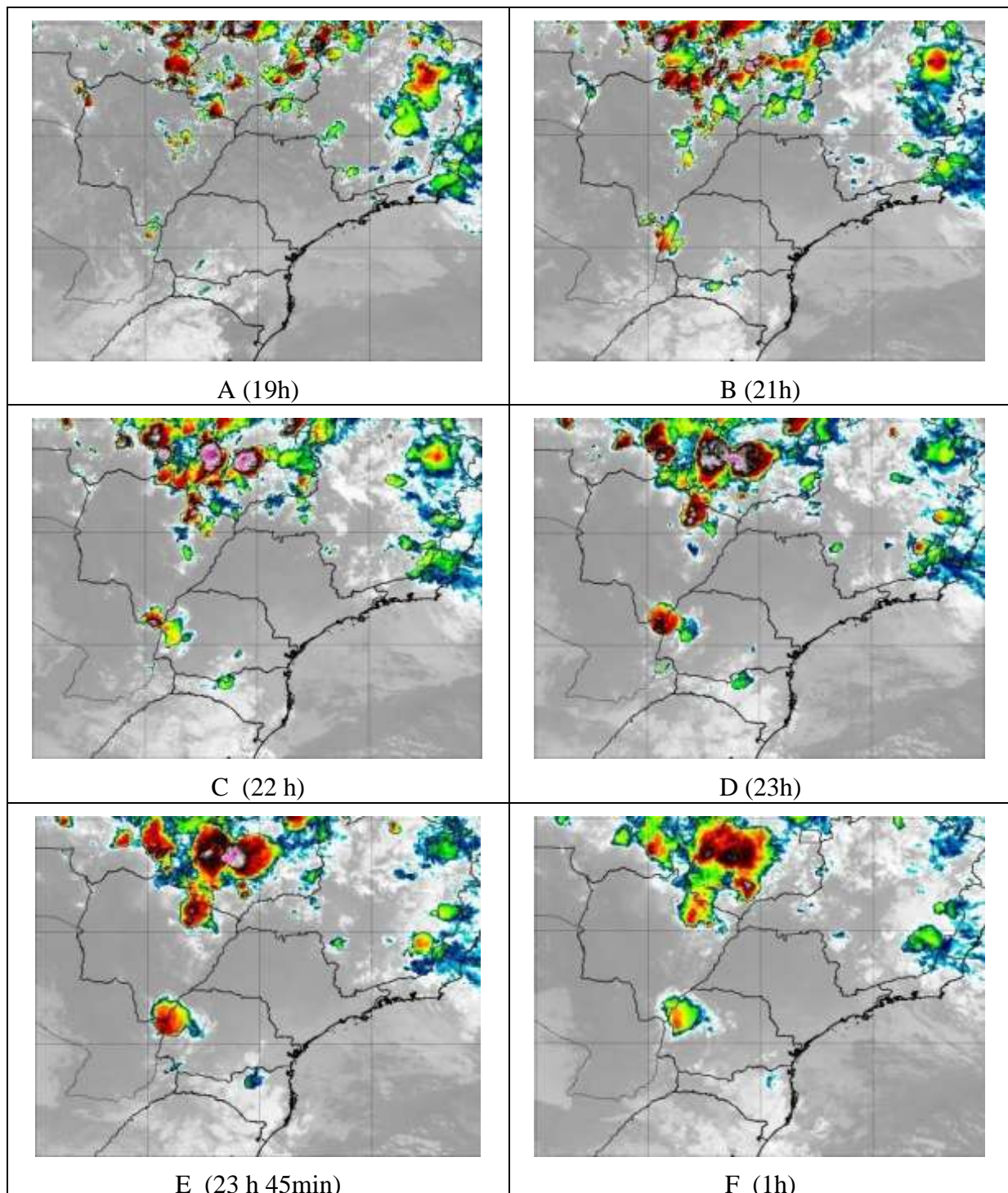
A imagem das 23h mostra que a primeira célula se encontrava em dissipação, e a segunda evoluindo para o estágio de maturidade (Figura 02 “D”). Dessa forma, a primeira supercélula durou três horas, aproximadamente. A segunda manteve-se ativa e em expansão até a 01h do dia 23, a partir desse momento a supercélula evolui em dissipação (Figura 02 “E” e “F”). O deslocamento foi a sudeste e durante as quatro horas de plena atividade, o deslocamento foi de aproximadamente um grau. A dissipação dessa segunda supercélula foi relativamente lenta e só se deu depois de três horas.

A terceira supercélula foi visualizada às 4h (Figura 03 “A”). Aparece na imagem como um novo núcleo de convecção intenso, ela surge à sudoeste da célula em dissipação. Essa nova célula se ampliou e se manteve intensamente ativa até às 6h (Figura 03 “B” e “C”). Na Figura 03 “C”, visualiza-se também a quarta supercélula, a oeste da terceira, que se encontrava em dissipação. Ela se manteve ativa durante três horas.

O quarto núcleo convectivo se ampliou e intensificou de tal forma que, às 7h (TMG) já se encontrava bastante intensa e posicionada sobre o município de Cafelândia e arredores, considerando-se as coordenadas da área imageada com a supercélula (Figura 03 “D”). Pela hora de seu máximo desenvolvimento, foi a partir dela que se desencadeou a tempestade sobre o município de Cafelândia (G1, 2018).

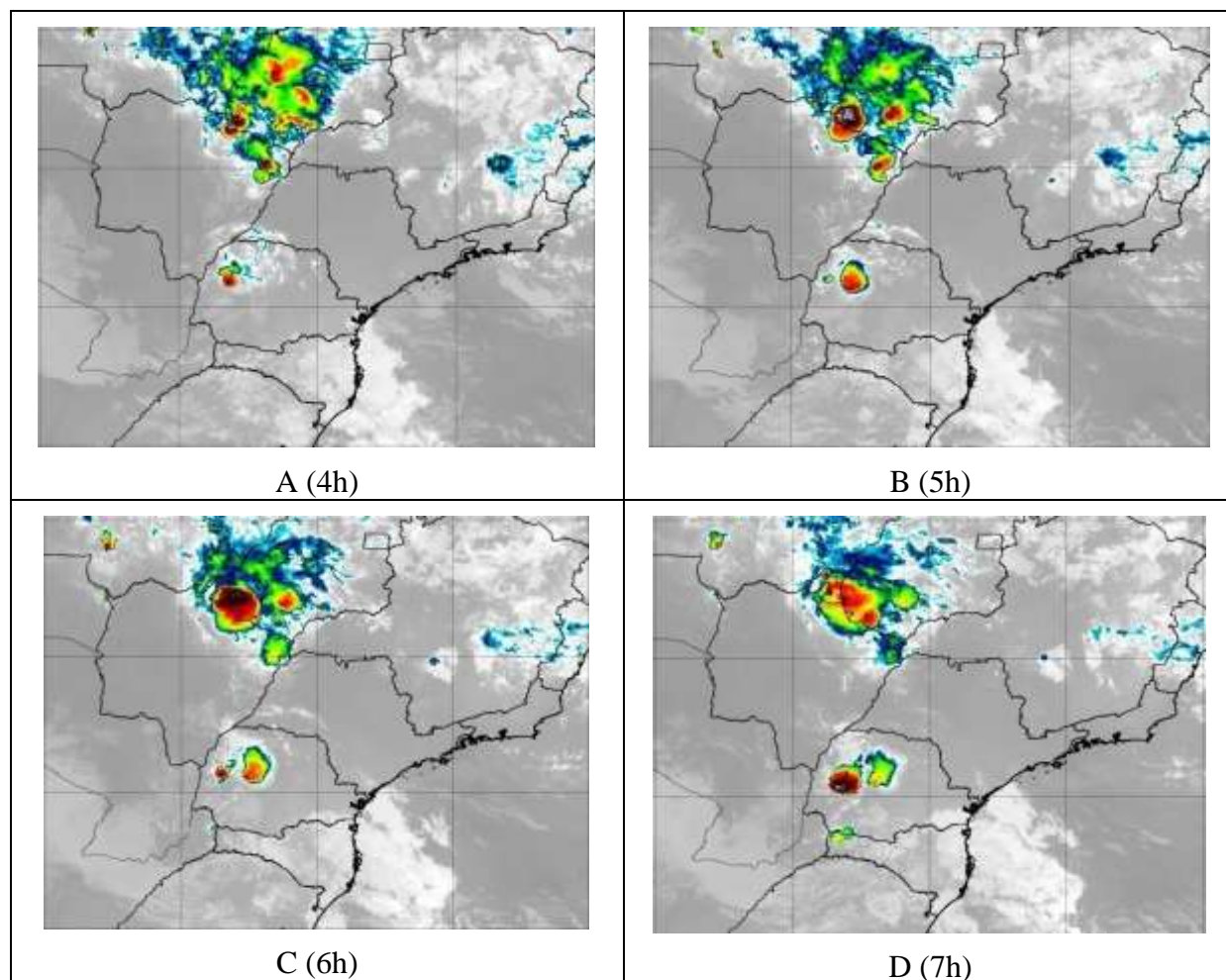
Os noticiários informam que o episódio foi de madrugada, mas não dão precisão do momento, a preocupação relevante é mostrar os danos. Pelas coordenadas da cidade e pela posição visualizada na sequência de imagens, considerou-se que foi a partir da evolução da quarta supercélula que a tempestade eclodiu (Figura 03 “D”).

Figura 02 - Recorte de imagens de satélite *Goes* -15 de -15 a -30 de latitude e de -35 a -60 de longitude e as horas em TMG⁴. A sequência mostra a evolução, do surgimento à dissipação da primeira e da segunda supercélula. Em “A” o recorte é da imagem das 19h do dia 22 de março de 2010. Em “B” a supercélula as 21h. a “D” das 22h; a “D” 23h; a “E” 23h.



⁴ Tempo Médio de Greenwich (TMG) ou *Greenwich Mean Time* (GMT) em inglês, é a média do horário solar aparente no observatório de 0° em Greenwich, Londres

Figura 03 – Recortes das imagens *Goes-16* de -15 a -30 de latitude e de -35 a -60 de longitude e as horas em TMG). Em “A” o recorte para as 04h do dia 23 de março de 2018; em “B” imagem das 5h; em “C” das 6h; em “D” das 7h.



O episódio repercutiu na região e por meio das fotografias divulgados nas redes sociais e nos noticiários foram utilizadas para uma análise visual e verificar se tratou-se de um tornado ou de um microbursts⁵. Fujita (1981) mostra que os rastros de um tornado são bem característicos e não raro, descreve um ziguezague e as árvores tombadas, arrancadas ou quebradas pela ação do vento, não se distribui em linha, consequência do movimento rotacional dos ventos do tornado. Por outro lado, os microbursts (microexplosão) ao atingir o solo causam uma destruição intensa e diminuem na sequência. Esse fenômeno tem a duração efêmera e a grande maioria das árvores tombam na mesma direção, ou a partir de um centro. Dessa forma, não se descarta a probabilidade de se ter ocorrido a manifestação de um microburst naquela região. Entretanto, descarta-se tratar de um evento tornádico.

Mesmo que as características visualizadas nas imagens de satélites mostrem que a configuração das supercélulas apresentavam potencial para desencadear ventos tornádicos,

⁵ A convective downdraft with an affected outflow area of less than 2½ miles wide and peak winds lasting less than 5 minutes. Microbursts may induce dangerous horizontal/vertical wind shears, which can adversely affect aircraft performance and cause property damage. (NOAA, 2018)

Simões (2005) considera que a principal maneira de detectar eventos tornádicos é pela análise de imagens de satélite, nelas se reconhecem as características que possibilitem identificar as nuvens convectivas mais profundas, possíveis geradoras de tornado. Estas nuvens podem atingir a tropopausa, aproximadamente 14.000 m de altitude, e se caracterizam principalmente pela baixíssima temperatura de seu topo, que por vezes pode ser inferior a 67°C negativos.

Essa quarta supercélula ampliou-se, de tal modo que, o acompanhamento pela sequência de imagens não permite que se tenha com precisão os limites, também não dá para precisar o momento da dissipação. Ela adquiriu a configuração de um Complexo Convectivo de Mesoescala e às 08 horas, apresentava-se com mais de um grau de extensão na imagem, e as cores na área core da supercélula (em vermelho) mostram que a temperatura no topo oscilava entre -65° a -75°C, para essa temperatura a altitude é de 12 a 15 Km (Figura 04 “A”).

Às nove horas, essa supercélula ainda se encontrava intensificada (Figura 04 “B”), porém às 10h, um novo núcleo convectivo já era visualizado na retaguarda e conectado à célula principal, em dissipação (Figura 04 “C”). Na sequência, verifica-se que a nova célula se ampliou e a antiga se rejuvenesceu (Figura 04 “D”). Às 12h, elas apresentavam dimensões e características de um Complexo Convectivo de Mesoescala, cuja dissipação só se deu depois das 18 horas (Figuras 04 “E” e “F”). Das 13h às 21h, a evolução foi acompanhada, e na sequência, as supercélulas evoluíram para um caso de CCM.

Às 13h, as chuvas haviam avançado para a região norte, central e Campos Gerais do estado do Paraná. Os maiores volumes foram registrados na região de Campo Mourão e Cianorte, a grande intensidade causou diversos transtornos à população, na PR- 082, rodovia que liga as cidades de Cianorte e Terra Boa, via distrito de Malu, a ponte sobre o Rio Catingueiro foi arrastada pelas fortes correntezas (G1, 2018).

A imagem da 14h (Figura 05 “A”) mostra que mais de 1/3 dos 200.000 Km² do estado do Paraná estava tomado pelo CCM. A sequência de imagens, figuras 05 “A”, “B”, “C” e “D” mostra a evolução até a completa dissipação que se dá a partir das 19 horas. As imagens mostram também que ao norte da região de estudo, outros núcleos convectivos evoluíram, uns característicos de supercélulas e outros de CCM.

Todos os episódios observados a partir das 19 horas do dia 22 mostram que as instabilidades avançaram de oeste para leste, em conformidade com o escoamento atmosférico para essa região.

Para o dia seguinte, 24 de março, a carta sinótica mostra que o Paraná ainda se encontra sobre áreas dominadas pela massa Tropical continental.

Na região oeste do Paraná, é bastante comum a ocorrência de tempestades. Eventos semelhantes ao ocorrido no dia 23/03/2018 foram registrados em área que coincidem com a rota de desenvolvimento dos CCM (DURKEE et. al., 2009). O autor mostra que o extremo oeste do estado do Paraná encontra-se na região de maior incidência dos CCM, com frequência de 63 a 81 eventos por ano. O município de Cafelândia encontra-se na área de máxima ocorrência (Figura 06), por isso esses eventos são frequentes na região, tornando-os, assim, fontes de notícias de tempestades com danos (JORNAL INTEGRAÇÃO, 2018; BANDA B, 2014; CHUEIRE Jr, 2014; UOL, 2015; G1, 2014 e VISÃO NOTÍCIAS.COM, 2017).

Figura 04 – Recortes das imagens *Goes-16* de -15 a -30 de latitude e de -35 a -60 de longitude e as horas em TMG; Em “**A**” o recorte para as 8h do dia 23 de março de 2018; “**B**” 9h; “**C**” 10h, “**D**” 11h, “**E**” 12h e “**F**” 13h.

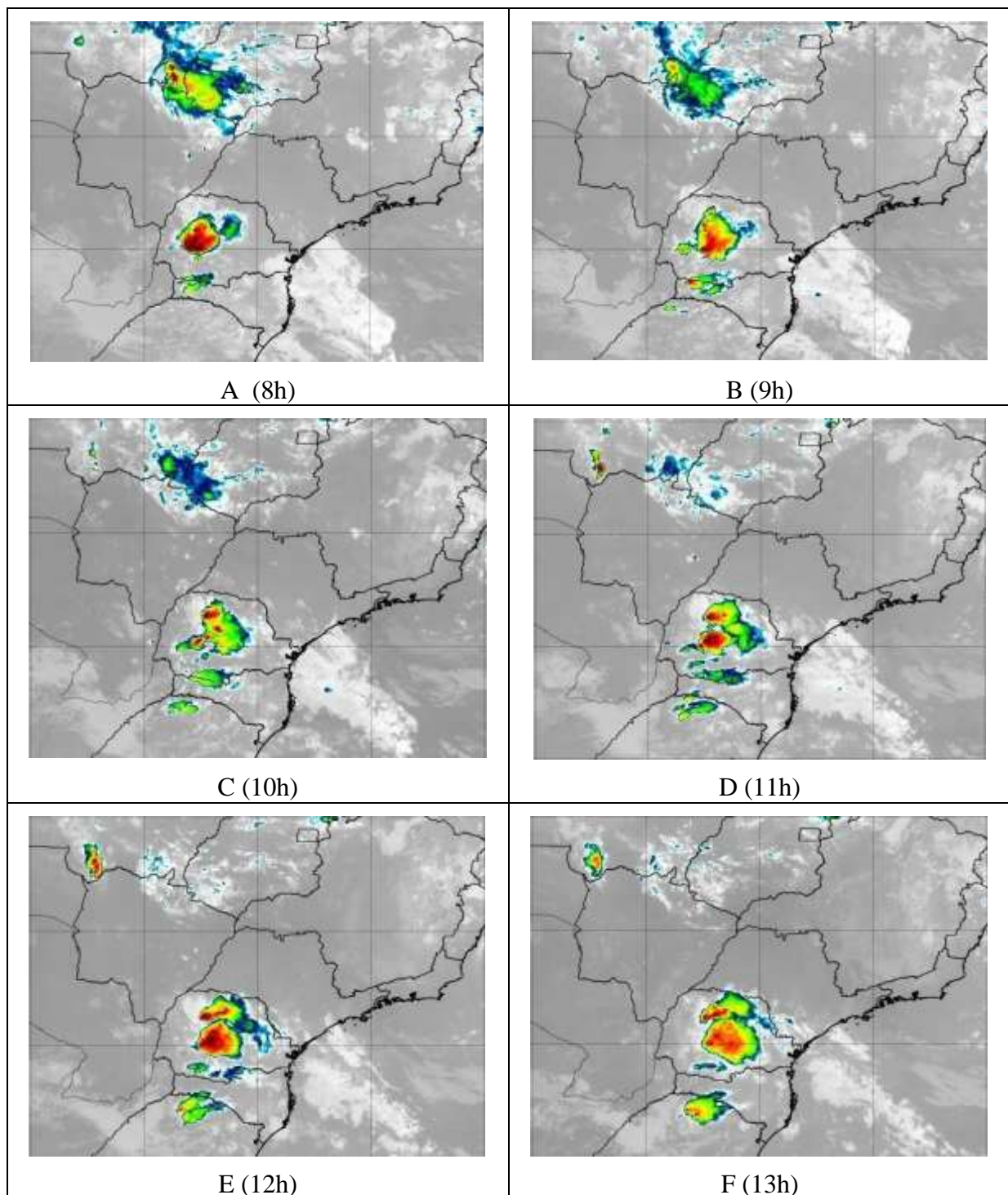


Figura 05 – Recortes das imagens *Goes-16* de -15 a -30 de latitude e de -35 a -60 de longitude e as horas em TMG; Em “A” o recorte para as 14h do dia 23 de março de 2018; “B” das 15h; “C” das 16h; “D” das 17h; “E” das 19h e “F” das 21h.

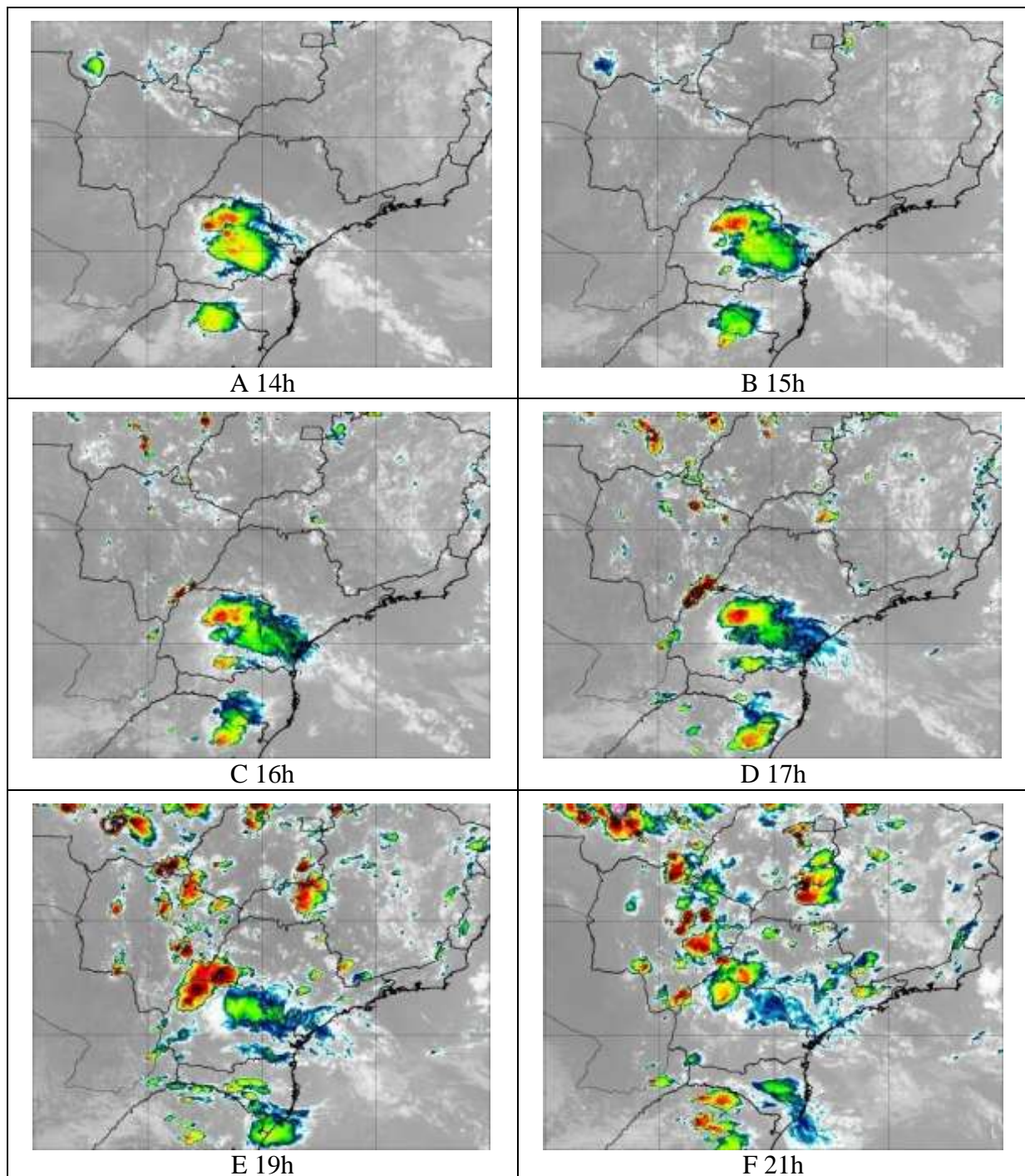
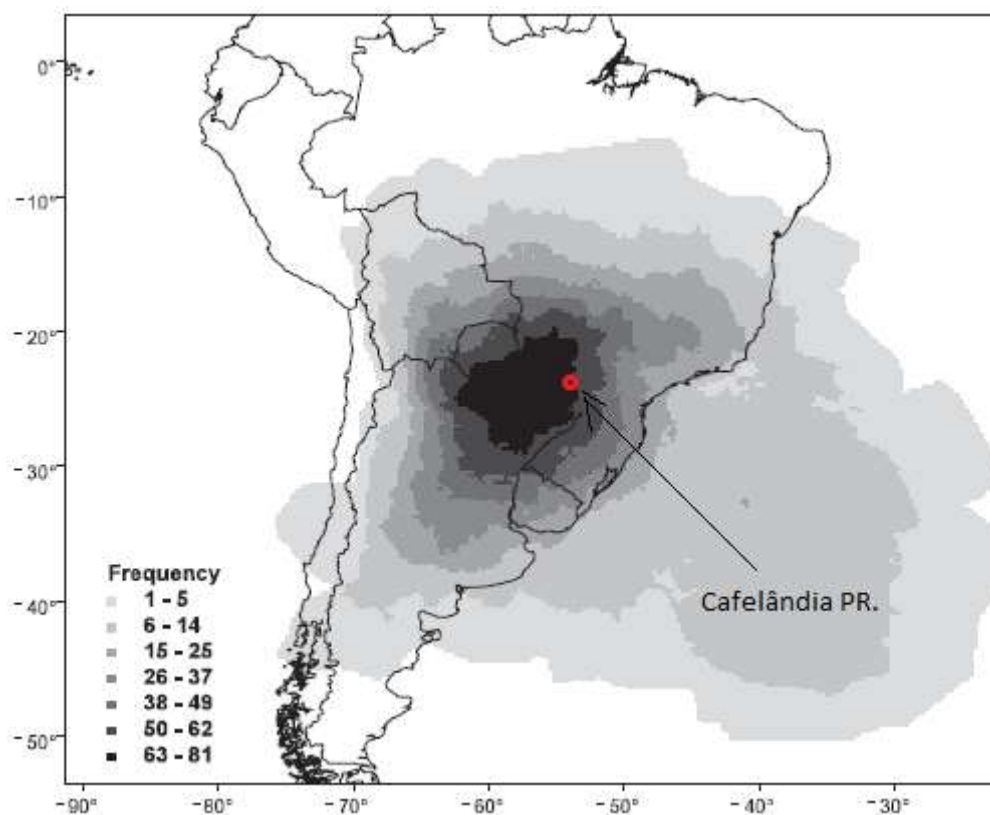


Figura 06 – Frequência de CCM para o Centro Sul do Continente Sul Americano – O município de Cafelândia encontra se na zona de maior frequência de incidência.

Fonte: Durkee et. al. (2009), modificado: autores



Considerações finais

A presente pesquisa constata que a região em estudo e todo o oeste do estado do Paraná estão na rota das tempestades, cujas causas são balizadas pelas condições meteorológicas. Contribui também para o desencadeamento desses eventos, a Corrente de Jato de Alto Nível, a Corrente de Jato de Baixo Nível, os cavados de nível médio da atmosfera e as ondas frontais.

No entanto, essa região também experimenta as passagens de frentes frias que podem contribuir para a evolução dos CCM. Por outro lado, a expansão da baixa pressão gerada na Região do Grande Chaco (massa Tropical continental) é outro fenômeno que também contribui para o desenvolvimento dos CCM e das supercélulas convectivas, principalmente nos períodos em que o Jato de Baixo Nível se encontra em ação. Essa corrente de ar é responsável para o abastecimento de umidade na região.

As supercélulas e os CCM apresentam potencial para o surgimento dos tornados e principalmente dos microbursts. Para precisar a ocorrência de ambos é importante analisar as imagens dos danos, pois elas são fundamentais. Para o caso de tornados, as coberturas das edificações são sugadas pelo turbilhão de ventos e arrematados a dezenas ou centenas de metros. Para o caso da vegetação, as árvores são tombadas, arrancadas ou danificadas pelos tornados e os restos se distribuem caoticamente no rastro de destruição. Por outro lado, os microbursts, como a explosão é de cima para baixo, as coberturas das edificações se abatem

sobre os prédios e para a vegetação arbórea verifica-se que o tombamento das as árvores seguem na mesma direção.

Nas imagens mostradas em reportagem da Rede Paranaense de Televisão (G1, 2018a), ela mostra um barracão destruído, verifica-se que toda a estrutura da cobertura veio abaixo, consequência da pressão do vento e de cima para baixo. Dessa forma, é possível afirmar que não se tratou de um tornado. Por outro lado, as poucas imagens, sugere-se que o núcleo de maior destruição tem características do abatimento de uma microexplosão (microbursts).

Agradecimentos

A execução deste trabalho foi financiada pela Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná. EDITAL 03/2016 – PRPPG/Unespar Apoio à Pesquisa Básica e Aplicada.

Bibliografia

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES G., J. L.; SPAROVEK, G.; (2013). «**Köppen's climate classification map for Brazil**». Meteorologische Zeitschrift (em inglês). 22 (6): 711–728. doi:10.1127/0941-2948/2013/0507.

BANDA B.; Furnas começa a desmontar torres de energia derrubadas por tempestade em Cafelândia, **Banda B, entretenimento**, 25 de setembro, 2014; disponível em <<http://www.bandab.com.br/geral/furnas-comeca-desmontar-torres-de-energia-derrubadas-por-tempestade-em-cafelandia/>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

BECCARIO, C. Earth Wind Map. Disponível em <http://earth.nullschool.net>, acessado em 23 de março de 2018.

BLAIR, A. Thomas, FITE, Robert C.; **Meteorologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança. 1964. 406p.

BORSATO, V. A.; **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba: CRV, 2016.
CHUEIRE JR, RUBENS.; Temporal causa morte e destruição no Oeste do Paraná. **Gazeta do povo, vida e cidadania de 13 de maio de 2004**, disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/tempestades-atingem-regioes-oeste-e-sudoeste-do-pr-com-registro-de-granizo-es7ygjyv4xxt1avx54eehb2px>>. Acesso em 14 de abril de 2018.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos; **Divisão de satélites e Estudos Ambientais**. Disponíveis em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/pedido.formulario.logic>>. Acesso em 12 fev. 2018.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos; **Noções básicas de Meteorologia**. Disponível em: <http://cursos.cptec.inpe.br/~rcursos/pratico_analise_previsao_tempo/pdf/MetBasico.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2018.

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F.; As abordagens clássicas e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, v. 29, p. 137-149, 2007.

Durkee, J. D., and T. L. Mote; A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **Int. J. Climatol.**, 2009 - doi:10.1002/joc.1961, in press.

FUJITA, T. T.; Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 38, p.1511-1534, 1981.

G1, OESTE e SUDOESTE RPC PR; **Torres de Furnas derrubadas por tempestades no PR são reconstruídas**. 25 setembro de 2014; Disponível em <<http://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2014/09/torres-de-furnas-derrubadas-por-tempestade-no-pr-sao-reconstruidas.html>>. Acesso em 26 de mar. De 2018.

G1, PARANÁ RPC; Rede Paranaense de Televisão – **Moradores relatam passagem de tornado em Cafelândia**, 24 de março de 2018. Disponível em <<http://g1.globo.com/pr/parana/paranav-1edicao/videos/t/edicoes/v/moradores-relatam-passage-de-tornado-em-cafelandia/6606944/>>. Acesso em 15 de abril de 2018a.

JORNAL INTEGRAÇÃO; **Nova Aurora foi o município mais afetado com tempestades**, Paraná, 16 de abril de 2018; Disponível em <<https://www.jornalintegracao.com/noticias/nova-aurora-foi-o-municipio-mais-afetado-com-tempestades>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

MADDOX, R.A. Mesoscale Convective Complexes. **Bul. Amer. Meteorol. Soc.**, v.61, n.11, p.1374-1387, 1980.

MALDONADO, P.; **Atlas del Gran Chaco americano**; ilustrado por Martin Naumann - 2ª. Edición – Marzo 2006. – Buenos Aires: Agencia Alemana de Cooperacion Tecnica, 2006, 96 p.

MARENGO J. A; SOARES WR.; Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17(1): 35-52 2002.

MARENGO J. A. & SOARES W. R.; Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2002. 17(1): 35-52.

MARENGO J. A; SOARES WR, SAULO C & NICOLINI M.; Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEPNCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, 2004. 17(12): 2261-2280.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P.; Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: Cavalcanti, I. F. A.; Ferreira, N. J.; Silva, M. G. A. J.; Silva Dias, M. A. F. (eds) Tempo e Clima no Brasil. **Oficina de Textos**, 2009, p. 25-41.

MONTEIRO, C. A. de F.; Da Necessidade de um Caráter Genético à Classificação Climática (Algumas Considerações Metodológicas a Propósito do Estudo do Brasil Meridional). **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro, v. 31, n. 57, p. 29-44, 1962.

MONTEIRO, C. A. F.; O clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: Problemas e perspectivas. **Série Teses e Monografias**, nº28, São Paulo: USP/IGEOG, p.54, 1976.

NASCIMENTO, E. L.; Identifying severe thunderstorm environments in southern Brazil: analysis of severe weather parameters. **22nd Conference on Severe Local Storms**, 2004.

NASCIMENTO, E. L.; ANABOR, V.; FOSS, M.; DAL PIVA, E.; O episódio de tempo severo de 7 de setembro de 2009 nos contextos sinótico e climatológico. In. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais em CD-ROM**, Soc. Brasileira de Meteorologia, Belém, Brasil. 2010.

NATIONAL WEATHER SERVICE GLOSSARY: M"; **National Weather Service**. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em <<http://w1.weather.gov/glossary/index.php?letter=m>>. Acesso em 14 de abr., 2018.

NICOLINI, M. & SAULO A. C.; ETA Characterization of the 1997-1998 Warm Season Chaco Jet Cases. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 6., Santiago/Chile. **Anais...** Santiago/Chile, 2000. p. 330-331.

OLIVEIRA, A. B.; Plano de atendimento a emergência com queda de torres em linhas de transmissão: Medidas corretivas e preventivas; SNPTEE – **Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro - RJ 14 a 17 de Outubro de 2007. Grupo de Estudos de Linhas de Transmissão (GLT 09). 2007.

PADILHA, C.K.; Estagnação de massa de ar quente e seco sobre a região Central do Brasil, **Dissertação de Mestrado** do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos S. P. p. 139 Paris: Armand Colin, 1951. Chap. 5, p.13-43. 2008.

SALIO, P., NICOLINI, M. & SAULO, A. C.; Chaco Low Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. **Journal Geophysical Research**, 107(D24): 4816, 10.1029/2001JD001315. 2002.

SCHRÖDER, R.; Distribuição e curso anual das precipitações no estado de São Paulo. **Bragantia**, Instituto Agrônomo de Campinas, v.15, n.18, 1956.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C.; Baixa do Noroeste argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.49-60, 2012.

SELUCHI, M., MARENGO, J. A. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and extreme events. Int. **J. Climatol**, v.20, p.1167-119, 2000.

SERRA, A. Circulação hemisférica (chuvas de outono). **Boletim Geográfico** (Rio de Janeiro), Fundação IBGE, ano 31, n. 226, 1972.

SERRA, A.; Circulação no Hemisfério Sul (as chuvas de inverno e de primavera). **Boletim Geográfico** (Rio de Janeiro), Fundação IBGE, ano 30, n.224, 1971a.

SERRA, A.; Circulação no Hemisfério Sul (chuvas de verão). **Boletim Geográfico** (Rio de Janeiro), Fundação IBGE, ano 30, n.225, 1971b.

SERRA, A. e RATISBONNA, L.; **As massas de ar na América do Sul**. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, 1942, 57 p.

SERRA, A. e RATISBONNA, L. ç. As ondas de frio da bacia Amazônica. **Boletim Geográfico**, ano III, nº 26, maio 1945 - Transcrição. Serviço de meteorologia. Ministério da Agricultura, p 172 – 206. 1941.

SERRA, A.; Meteorologia do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**. Ano VII, julho-setembro 1945, n 3. Tese para a IV Assembleia Geral do Instituto Pan-americano de Geografia e História p. 257 - 444.

TERRA NOTÍCIAS, CATVE.COM; Cafelândia. **Vendaval derruba torre de energia de Furnas em Cafelândia**, 24 de outubro de 2014, disponível em <<https://catve.com/noticia/6/96661/vendaval-derruba-torre-de-energia-de-furnas-em-cafelandia>>. Acessado em 26 de mar. De 2018.

SILVA DIAS, M. A. F.; Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2: 133-150. 1987.

SIMÕES, Débora de Souza. Análise de eventos tornádicos ocorridos no Rio Grande do Sul utilizando imagens dos satélites GOES e METEOSAT e o modelo regional RAMS. 2005. 144 f. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em:<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8476/000577621.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine: les fondements biologiques** 3. Ed Paris, 1957.

UOL, NOTÍCIAS COTIDIANO; **Tornado atinge duas cidades no oeste do Paraná e destrói galpão**4 Do UOL, em São Paulo, São Paulo, 09 de outubro de 2015, disponível em <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2015/10/09/tornado-destroi-galpao-ao-atingir-cidades-do-parana.htm>>. Acesso em 13/ de abril de 2018.

VAREJÃO-SILVA M. A.; **Meteorologia e Climatologia**. Instituto Nacional de Meteorologia Brasília, DF, 2000 p 515.

VIANELLO, R. L.; **Meteorologia básica e aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. Editora UFV. 2000. 449 p.

VISÃO NOTÍCIAS.COM, NOTÍCIAS.; **Tempestade causa estrago por toda cidade, com inundações, queda de árvore casa atingidas**, 17 de fevereiro de 2017, disponível em <<http://www.visaonoticias.com/noticia/25319/tempestade-causa-estragos-por-toda-cidade-com-inundacoes-queda-de-arvores-e-casas-atingidas>>. Acesso em 15 de abril de 2018.

Artigo recebido em 04-08-2018

Artigo aceito para publicação em 08-01-2019