



INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM METEOROLOGIA AERONÁUTICA

MARCUS VINICIUS DA SILVA **DIAS**, 2º TEN QOEMET

**ANÁLISE SINÓTICA DE UM EVENTO EXTREMO OCORRIDO NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO**

São José dos Campos
2018

INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM METEOROLOGIA AERONÁUTICA

MARCUS VINICIUS DA SILVA **DIAS**, 2º TEN QOEMET

**ANÁLISE SINÓTICA DE UM EVENTO EXTREMO OCORRIDO NA CIDADE DO
RIO DE JANEIRO**

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização em Meteorologia Aeronáutica do Instituto de Controle do Espaço Aéreo, como requisito parcial para aprovação no referido curso.

Área de concentração: Meteorologia Aeronáutica, Operacional e Aplicada.

Orientador: Vicente Pereira Neto, Major QOEMet.

São José dos Campos
2018

RESUMO

O estudo foi desenvolvido com o objetivo de fazer uma análise sinótica para um caso de evento extremo ocorrido na área da Terminal do Rio de Janeiro entre os dias 14 e 15 de fevereiro de 2018. Em algumas estações de superfícies foram registradas 148 mm de chuva em 24 horas e ventos de superfície de aproximadamente 100 km/h. O momento de maior severidade da tempestade mostrou uma temperatura do topo da nuvem de -70°C e indicou uma refletividade do radar meteorológico próximo de 50 dBZ. Foram feitas análises do ar superior se estendendo até a superfície (*Top Down*) e constatou-se que a tempestade severa foi ocasionada pela presença de um cavado em superfície que se expandiu até o nível de 850 hpa, próximo ao litoral do Rio de Janeiro, associado a uma frente fria em superfície. Uma confluência de ventos no nível de 500 hpa contribuiu para a instabilidade na média atmosfera. Por último, o nível de 250 hpa mostrou um cavado e um jato subtropical dando suporte à frente fria, além da difluência de ventos em altos níveis sobre o sudeste do Brasil. Isso tudo favoreceu a instabilidade na atmosfera. As correntes ascendentes, a umidade relativa alta, a confluência de ventos e outros fatores deram origem as nuvens cumulonimbus que permaneceram ativas por um período superior a 6 horas. A radiossondagem, no dia da tempestade, confirmou através dos índices de instabilidade, as características sinóticas apresentadas acima. Os resultados dessas forçantes e ingredientes foram os fechamentos dos aeroportos da cidade, além do transtorno causado à população.

Palavras-chave: Análise Sinótico, Tempestade Convectiva, Cavado.

ABSTRACT

The study was developed with the objective of making a synoptic analysis for an event extreme event occurred in the area of the Terminal of Rio de Janeiro between February 14 and 15, 2018. In some surface stations 148 mm of rain were registered in 24 hours and surface winds of approximately 100 km / h. The storm's highest severity moment showed a cloud top temperature of -70° C and indicated a reflectivity of the weather radar near 50 dBZ. Top air analysis was carried out to the top (top down) and it was verified that the severe storm was caused by the presence of a surface dug that expanded to the level of 850hpa, near the coast of Rio de Janeiro, associated to a cold front on the surface. A confluence of winds at the 500hpa level contributed to the instability in the middle atmosphere. Finally, the level of 250hpa showed a dug and a subtropical jet giving support to the cold front, in addition to the diffluence of high level winds in southeastern Brazil. This all favored instability in the atmosphere. Rising currents, high relative humidity, confluence of winds and other factors gave rise to cumulonimbus clouds that remained active for a period of more than 6 hours. The radiosonding, on the day of the storm, confirmed through the instability indexes the synoptic characteristics presented above. The results of these forcants and ingredients were the closures of the main airports of the city, besides.

Keywords: Synoptic Analysis, Convective Storm, Trough.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 Referencial Teórico	9
2.1.1 Tempestade Convectiva.....	9
2.1.1 Índice de Instabilidade.....	11
2.1.3 Cavados e Crista.....	13
2.2 Dados e Metodologia	14
2.2.1 Área de estudo.....	14
2.2.2 Técnica de coleta de dados.....	14
2.2.3 Metodologia.....	15
2.2.3.1 Classificação da pesquisa.....	15
2.2.3.2 Análise dos dados coletados.....	15
2.3 Apresentação e análise dos resultados	16
2.3.1 Análise vertical da atmosfera (<i>Top Down</i>).....	16
2.3.2 Análise de imagens meteorológicas.....	19
2.3.3 Análise de dados observados	23
3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	26
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura no planeta, causado pelo excesso de gases do efeito estufa na atmosfera, é uma preocupação eminente para a sociedade. De acordo com Motta (2011), esse cenário de elevação de temperatura levaria a um aumento da intensidade de eventos extremos e, também, à alteração do regime das chuvas, com maior ocorrência de secas e enchentes.

Nos dias atuais, já é percebida uma evolução da severidade dos fenômenos meteorológicos. Na noite do dia 14 de fevereiro de 2018, a cidade do Rio de Janeiro foi atingida por uma tempestade. O temporal causou transtorno à população com ventos de superfície de aproximadamente 100 km/h. Trovoadas com chuvas fortes provocaram fechamentos dos principais aeroportos da cidade, além de deixar diversos bairros alagados e sem energia.

Segundo a mídia local, moradores ficaram desalojados e quatro pessoas faleceram. O Climatempo (2018) relatou que uma diminuição significativa na pressão atmosférica sobre o mar, próxima a região litorânea de São Paulo e do Rio de Janeiro, fez com que nuvens muito carregadas se desenvolvessem, facilitando assim, a ocorrência severa do fenômeno próximo à Terminal do Rio. Neste dia, foi registrado um acúmulo de 148,8 mm na estação meteorológica do Alto da Boa Vista, localizado no Parque Nacional da Tijuca, em 24 horas.

Observa-se que a meteorologia afeta áreas da sociedade, tais como, a agricultura, o turismo e o comércio, influenciando assim, na vida das pessoas. No ramo da aviação, muitas vezes, ela é responsável pelos atrasos e cancelamentos de voos, além de contribuir com os acidentes aeronáuticos.

Para diminuir os impactos causados pelos fenômenos meteorológicos na aviação, existe o Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA), órgão oficial responsável por preparar e fornecer previsões de tempo significativo para fins aeronáuticos (BRASIL, ICA 105 – 2, 2017).

A previsão do tempo, no final do século XIX, era feita de forma sistemática. Naquela época, a Meteorologia era uma ciência basicamente observacional, as previsões possuíam pouca confiabilidade e eram feitas para um prazo máximo de 24 horas (CPTEC, 2010).

Com o passar do tempo, surgiram novas necessidades advindas da Segunda Guerra

Mundial, como, por exemplo, definir estratégias militares, e iniciaram-se aí, as primeiras sondagens e imagens de radares meteorológicos. Tempos depois, foram criados os satélites artificiais onde surgiram as primeiras imagens de escala global. A confiabilidade da previsão nessa época, ainda eram consideradas baixas e com prazo máximo de 36 horas (CPTEC, 2010).

Na década de 50, foram criados os primeiros computadores que faziam cálculos matemáticos representando a atmosfera de forma simplificada e eficiente, dando início a Previsão Numérica do Tempo (PNT).

“Já nas décadas de 70 e 80, a Europa e os Estados Unidos possuíam modelos relativamente sofisticados, embora no Brasil, as previsões ainda eram feitas em forma subjetiva, aproveitando as informações de modelos rodados no exterior” (CPTEC, 2010).

Hoje, com o avanço dos supercomputadores, novos modelos globais e regionais foram aperfeiçoados e a previsão do tempo ficou mais confiável, com índices de acerto chegando próximo de 98% para até 48 horas e podendo gerar previsão para até 15 dias (CPTEC, 2010).

Uma das ferramentas que auxiliam na previsão de fenômenos severos é o modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*) que consegue simular dados de precipitação, vento, pressão e outros dados meteorológicos com até 72 horas antes. Segundo Coelho (2013), “com o progresso da computação, a Previsão Numérica do Tempo (PNT) tornou-se um instrumento poderoso para a evolução da meteorologia operacional e climatologia”.

Porém, segundo Nogueira (2010) “Apesar dos contínuos avanços na área de modelagem atmosférica, a comunidade meteorológica, em geral, concorda sobre as dificuldades envolvidas na quantitativa de precipitação simulada pelos modelos globais e regionais”, pois, o volume de chuva variam muito no decorrer do tempo e espaço, além de ser influenciados por fenômenos como El Niño, que é o aquecimento anormal das águas do oceano pacífico próximo a costa do Peru e La Niña, que é o inverso, onde as águas do pacífico se tornam mais frias que o normal (GLOBO, 2018).

Esta pesquisa não visa avaliar um modelo existente e muito menos retirar a responsabilidade que o previsor tem em fazer a sua análise e ao final diagnosticar

as condições sinóticas previstas, porém foi necessário explicar, acima, o seu avanço, pois, essa ferramenta é de extrema importância para contribuir na previsão de tempo severo como a que ocorreu na cidade do Rio.

Diante do exposto, o tema da pesquisa implicará em uma análise sinótica de um evento extremo ocorrido na cidade do Rio de Janeiro e a pesquisa será possível mediante a formulação de um problema, o qual irá traduzir-se no seguinte questionamento: Quais foram as forçantes e ingredientes que contribuíram para a formação da tempestade severa ocorrida na Terminal do Rio de Janeiro, nos dias 14 e 15 de fevereiro de 2018?

Para responder esse questionamento, foi estabelecido o seguinte objetivo geral: Identificar as forçantes e ingredientes que favoreceram o desenvolvimento do temporal na Terminal do Rio de Janeiro e para alcançá-lo é preciso estabelecer os seguintes objetivos específicos (OE):

OE1: análise vertical da atmosfera (*Top Down*) com 24 horas que antecederam a tempestade;

OE2: analisar a evolução do sistema no período de 18z do dia 14 de fevereiro até 06z do dia 15 de fevereiro de 2018;

OE3: analisar os índices de instabilidade K, Total Totals e Showalter do período.

Andrade, Pinheiro, Neto (2013) analisaram um evento extremo de chuva no Rio de Janeiro e chegou-se à conclusão que as fortes precipitações foram ocasionadas pela presença de uma frente fria associada aos ventos mais intensos em baixos níveis, contribuindo com a advecção de umidade do oceano para o continente.

Dereczynsk, Oliveira, Machado (2008), que estudou a climatologia do município do Rio de Janeiro e observou que 77% das chuvas intensas foram provocados por sistemas frontais. Eventos associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (13%) e sistemas convectivos de mesoescala (8%).

Dias (2008) analisou os índices de instabilidades para previsão de tempestades para o aeroporto do galeão. Chegou-se a conclusão que a Taxa de Acerto do modelo de previsão melhorou de 55,8%, para 62% com os índices ajustados, bem como a Razão de Alarme Falso diminuiu de 61,6% para 58,3%. A Probabilidade de Detecção diminuiu de 89,2% para 80,8% em virtude dos ajustes dos filtros serem mais restritivos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Referencial Teórico

2.1.1 Tempestade convectiva

Um dos fenômenos de maior relevância na Meteorologia Aeronáutica, e que impacta diretamente o tráfego aéreo, é a tempestade convectiva. Esse fenômeno é bastante comum na estação chuvosa do hemisfério sul (ANDRADE; PINHEIRO; NETO, 2013).

A variação da precipitação na cidade do Rio de Janeiro decresce do verão para o inverno sendo maior naquele, no mês de janeiro, com 200 mm próximo ao maciço Gericinó-Mendanha (DERECZYNSKI; OLIVEIRA; MACHADO, 2008).

A alta temperatura causada pelo aquecimento do sol, associado a outros ingredientes encontrados na atmosfera, dão origens às correntes de ar ascendentes, ou seja, o ar mais próximo a superfície fica mais quente e menos denso que o ambiente ao redor, assim, surgem as nuvens cumulonimbus (Cb).

Essa nuvem é bastante conhecida por causar fortes precipitações e/ou granizo, formação de gelo em seu interior, turbulência em médios e altos níveis, além de descargas elétricas caracterizando uma tempestade, de acordo com o Glossário de Meteorologia da AMS (*American Meteorological Society*, 2018), e existem três tipos: as unicelulares, as multicelulares e supercelulares. O evento apresentado nesse trabalho, enquadra-se nas duas últimas.

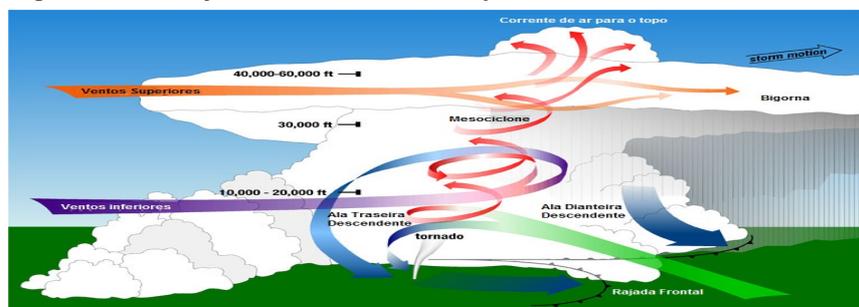
Para Doswell et al (1996), os ingredientes básicos para que um temporal se desenvolva são o mecanismo de disparo da convecção, a disponibilidade de umidade na atmosfera, a instabilidade atmosférica e o cisalhamento de vento. Este último fenômeno é definido como a variação vertical do vento horizontal, em direção e/ou intensidade (OLIVEIRA, 2001). Ainda de acordo com o autor, uma supercelular pode causar ventos de fluxo externo que são perigosos para aviões em fase final de aterrissagem ou decolagem.

Existem três fases de desenvolvimento de uma nuvem CB (REDEMET, 2018): o estágio de cumulus, onde as correntes de ar ascendentes dominam toda a nuvem que começam a crescer verticalmente e se transformam em torre de cumulus, o estágio de maturidade, onde as correntes ascendentes podem chegar a uma

velocidade de 40 nós de intensidade, dando origem a nuvem Cb com o seu maior desenvolvimento vertical e o estágio de dissipação que correntes descendentes tomam conta de toda a célula, ocasionando a morte da nebulosidade convectiva.

O período mais importante e que será analisada nessa pesquisa é o estágio de maturidade. Nele, é possível ocasionar frentes de rajadas que são quando o ar dentro da nuvem, mais denso e frio, cai com a precipitação formando uma corrente descendente e espalhando-se quando bate na superfície (TEMPOJOÃOPESSOA, 2018). Nesse momento, ela começa a empurrar e trocar o ar quente ao seu redor. É na maturidade que o Cb produz ventos fortes nos níveis mais baixos, como as que ocorreram na Terminal do Rio de Janeiro.

Figura 1: Ilustração de uma frente de rajada em uma nuvem convectiva.

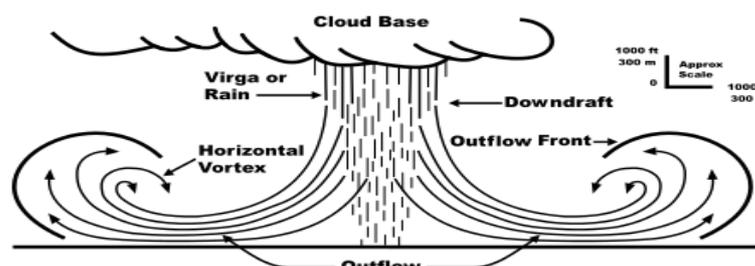


Fonte: Geocosta (2018)

A figura 1 mostra a ilustração de uma frente de rajada. É possível observar que o ar mais frio (cor azul) vai substituindo o ar mais quente (cor verde)

Outro fenômeno relevante produzido por uma tempestade tropical é o perigoso microburst. Segundo Cerqueira *et al* (2005), eles geralmente surgem em condição meteorológica convectiva. Quando vento descendente atinge o solo, espalha-se no sentido horizontal e pode formar um ou mais anéis horizontais de vórtice. A área que se espalha, pode ter diâmetros que vão de uma a duas milhas e os vórtices podem atingir até 2000ft (pés) de altura.

Figura 2: Ilustração do microburst saindo da base da nuvem.



Fonte: wikimedia (2018)

A figura 2 mostra a ilustração de uma microburst. Vórtices horizontais são formados com a queda brusca da precipitação ou vento descendente.

2.1.2 Índice de instabilidade

Uma previsão do tempo de boa qualidade é feita utilizando vários tipos de ferramentas que auxiliam o previsor na tomada de decisão correta. Considera-se o índice de instabilidade um mecanismo que agredam valores para auxiliar uma análise das situações sinóticas atuantes no dia.

Eles são importantes valores numéricos que representam a instabilidade atmosférica, além de serem fáceis de calcular. Quando associados com outros dados, são mais úteis para esse tipo de aplicação segundo Escobar (2007). Ainda de acordo com o autor, estes índices podem indicar a intensidade de um temporal e contribuir na previsão de eventos extremos, pois analisam a estrutura vertical da atmosfera em relação à temperatura e umidade. Este trabalho usará os índice K, índice dos totais (TT – total totals) e índice Showalter – IS).

O índice K é um medidor de potencial de instabilidade atmosférica. Baseia-se na taxa vertical de variação de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida (George, 1960) e sendo definida pela seguinte equação:

$$K = T850 - T500 + Td850 - Dep700$$

Onde: T850 e T500 são respectivamente as temperaturas do ar nos níveis de 850 hPa e 500 hPa; Td850 é a temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa. Dep700 é a depressão de temperatura no nível de 700 hPa, ou seja, a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho no nível de 700 hPa. De acordo com George (1960), quanto mais alto o valor do índice K, maior será a probabilidade da ocorrência das trovoadas. Abaixo encontra-se os seus valores.

Tabela1: Valores do índice K.

Índice K	Condições associadas
20 - 25	Pouco favorável à formação de tempestades
26 - 29	50% de probabilidade de formação de tempestades esparsas
30 - 35	80% de probabilidade de formação de tempestades severas
> 36	100% de probabilidade de formação de tempestades severas

Fonte: George (1960)

Já o índice Total-Totals (TT) identifica potenciais áreas com desenvolvimento de tempestades convectivas (Dias, 2008). É o somatório dos índices convectivos Cross-Total (CT) e VerticalTotal (VT).

$$TT = CT + VT$$

$$TOTAL = (TD850 - T500) + (T850 - T500) = T850 + TD850 - 2T500$$

Ainda de acordo com o autor acima, a maior limitação do índice TT é a dependência da umidade em 850 hPa, já que a umidade pode estar abaixo desse nível. o TT é calculado com a temperatura no nível de 850 hPa mais a temperatura do ponto de orvalho no nível de 850 hPa menos duas vezes a temperatura no nível de 500 hPa.

Tabela 2: Probabilidade de formações tormentas com o Índice TT.

TT	Atividade Convectiva
<	Potencial fraco
44 até 50	Tormentas moderadas
50 até 55	Tormentas forte
> 55	Tormentas muito fortes

Fonte: Dias(2008)

Por último, o índice Showalter (S) é o calculo da diferença entre a temperatura do ar (médio) no nível de 500 hPa e a temperatura de uma parcela que sobe adiabaticamente desde o nível de 850 hPa até o nível de 500 hPa (DIAS, 2008). Este índice representa apenas a instabilidade da camada e tem valores negativos quando há umidade e calor no nível de 850 hPa e ar frio em 500 hPa

$$S = T500 - Tparcela$$

T500 = Temperatura em 500 hPa (em Celsius) Tparcela = Temperatura em 500 hPa (em Celsius) de uma parcela que subiu desde o nível de 850 hPa.

Tabela 3: Probabilidade de formações de tormentas com o Índice Showalter.

Valor de S	Probabilidade de tormentas
3 até 1	Possíveis Tormentas (Precisa de forte gatilho)
0 até - 3	Instável - Prováveis tormentas
- 4 até - 6	Muito Instável (potencial para tormentas fortes)
< - 6	Extremadamente Instável

Fonte: Dias(2008)

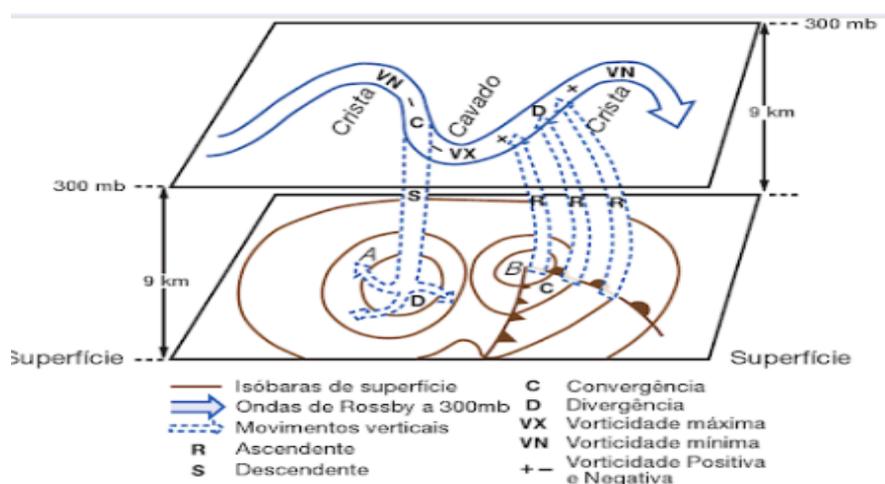
2.1.3 Cavado e Crista

Para compreender a situação sinótica de determinado local é de extrema importância localizar as regiões de cavados e cristas. O cavado é uma área alongada com pressão atmosférica baixa, podendo ou não ser associado a uma frente. Geralmente ele vem representada, na carta de superfície, com uma linha pontilhada. Além disso, segundo o Climatempo (2018) “o cavado é uma região na atmosfera onde ocorre uma ondulação do fluxo de ventos no sentido horário no Hemisfério Sul”.

Os cavados podem ocorrer em diversos níveis da atmosfera ao mesmo tempo e há qualquer época do ano. Pode existir cavados apenas em superfície ou cavados sobrepostos, desde a superfície até níveis mais elevados da atmosfera (CLIMATEMPO, 2018). Ainda, conforme o Climatempo (2018), dependendo das condições de umidade e temperatura numa região, a passagem de um cavado pode causar muita instabilidade na atmosfera, provocando chuvas fortes na região.

A crista representa uma superfície isobárica ondulada com um eixo onde a pressão é máxima em relação à área circundante (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 129). As regiões afetadas por cristas, geralmente, ocasionam condições de Tempo mais estáveis (quente e seco) e o ar que flui ao longo dela, apresenta curvatura anticiclônica (giro anti-horário) no Hemisfério Sul (CAPUCIN, 2017).

Figura 3: Ilustração de um cavado e uma crista no Hemisfério Norte.



Fonte: Barry,, Chorley (2009)

A Figura 3 ilustra duas cristas e um cavado atuando no nível de 300 mb. Observa-se que na frente da crista e atrás do cavado encontra-se uma área de subsidência do

ar, formando uma alta pressão em baixos níveis. Já na frente do cavado e atrás da crista, forma-se uma região de ascensão do ar e baixa pressão em superfície.

2.2 Dados e Metodologia

2.2.1 Área de Estudo

Foi escolhida a Área de Controle Terminal do Rio de Janeiro (TMA - RJ) por concentrar os principais aeroportos da cidade, os quais foram afetados pela tempestade do dia 14 para o dia 15 de fevereiro de 2018. As observações meteorológicas, realizadas nos aeródromos, registraram o fenômeno por meio das estações meteorológicas de superfície.

Figura 4: Área de interesse deste trabalho (TMA – RJ).



Fonte: Adaptado da REDEMET(2018).

2.2.2 Técnica de coleta de dados

Para alcançar o objetivo geral dessa pesquisa foram utilizadas as imagens do radar meteorológico do Pico do Couto (produto Maxxcappi), obtidas no site da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET) e as imagens do satélite GOES-16 (canal infravermelho), obtidas no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), todas do dia 14 e 15 de fevereiro de 2018.

Além disso, foram coletadas as observações meteorológicas registradas até 24 horas que antecederam o fenômeno nas estações de superfície, tais como quantidade e base de nuvens, vento em superfície, pressão atmosférica e precipitação, nos sites da REDEMET e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a região da Terminal do Rio de Janeiro.

As características atmosféricas como índices de instabilidade K, Total-Totals e Showalter, além dos ventos e umidades em altitude, foram obtidas através da radiossondagem do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo do Galeão (DTCEA-GL), das 00Z e 12Z dos dias 14 e 15 de fevereiro e foi feita uma análise sinótica das cartas de superfície, 850 hpa, 500 hpa e 250hpa, todas captadas no site do CPTEC e do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

2.2.3 Metodologia

2.2.3.1 Classificação da Pesquisa

Para alcançar os objetivos geral e específicos desse trabalho classificado como descritiva (GIL, 2002), busca-se, por meio da análise das cartas sinóticas e dos dados registrados de superfície e altitude, estabelecer uma relação entre o comportamento sinótico identificado no dia do temporal, para a terminal do Rio de Janeiro.

Considerando os procedimentos que foram adotados, esta pesquisa foi classificada como documental (GIL, 2002), pois, se valeu dos registros de dados meteorológicos observados no dia como Metar, Speci e radiossondagem. Em complemento a esse tipo de pesquisa, analisou-se as imagens de radar e satélite meteorológicos, e por último, foi realizado um estudo das cartas sinóticas de superfície, 850 hpa, 500 hpa e 250 hpa, elaboradas pelo CPTEC e o CHM. Essa pesquisa foi considerada, também, bibliográfica (GIL, 2002) devido ao referencial teórico utilizado para a construção do trabalho aqui apresentada.

2.2.3.2 Análise dos dados coletados

Para alcançar o OE1, foram verificadas as cartas sinóticas de 250 hpa, 500 hpa, 850 hpa e superfície dos dias 14 e 15 de fevereiro, cujo o objetivo é identificar as possíveis forçantes e ingredientes que contribuem para a formação de uma tempestade convectiva extrema.

As correntes de jatos, confluências de ventos, cavados, frente fria e baixas pressões, todos esses sistemas sinóticos contribuem para manter a atmosfera instável, fator primordial para alimentar uma célula de Cb como a que ocorreu na Terminal do Rio de Janeiro.

Para cumprir o OE2, foram coletadas tanto as imagens de satélites como as de radar meteorológico da área determinada. Por meio da animação das figuras é possível identificar o deslocamento de uma célula, além de saber se ela está intensificando ou enfraquecendo em uma determinada região. O produto Maxxcappi do radar é também verificado o deslocamento e a intensidade em dBz de uma nuvem Cb. Por isso, a evolução da tempestade foi acompanhada através dessas ferramentas.

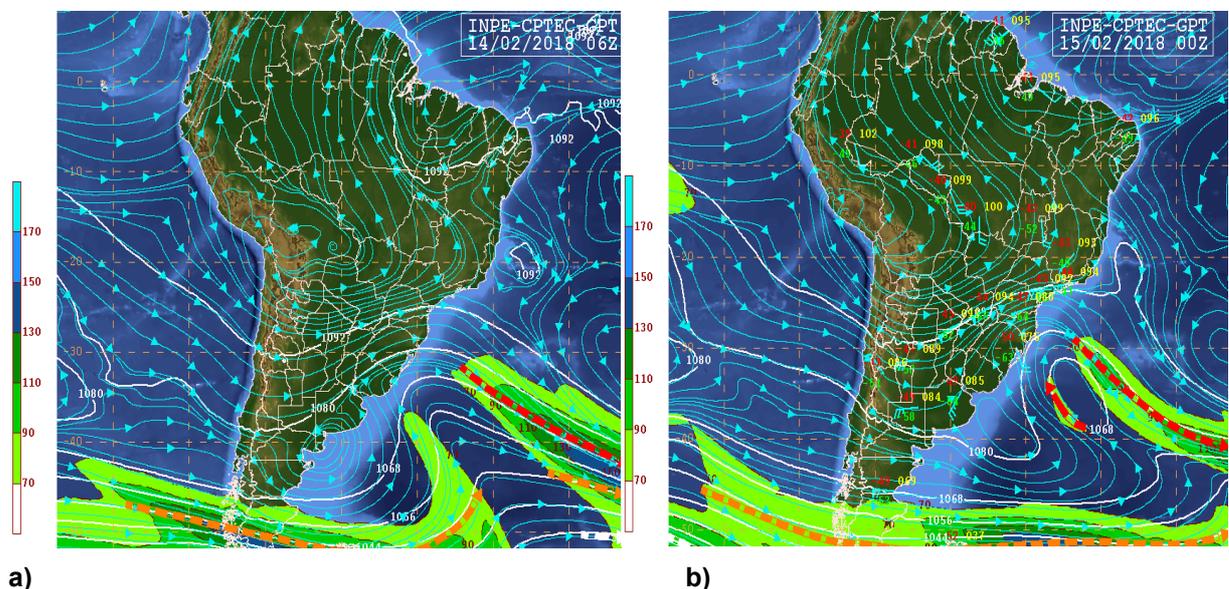
Já o OE3 será alcançado através dos registros de dados da radiossondagem do DTCEA-GL, das 12Z do dia 14 e 00Z do dia 15. É possível identificar os índices de instabilidade no dia do evento, fazendo a sua análise para concluir se a atmosfera estava instável ou estável.

2.3 Apresentação e análise dos resultados

2.3.1 Análise vertical da atmosfera

Para começar a análise do ar superior e verificando até a superfície (*Top Down*), inicia-se pela carta de 250 hpa para a constatação de áreas de possíveis distúrbios.

Figura 5: Cartas de altitudes de 250 hpa das 06Z do dia 14 de fev e 00Z do dia 15 de fev.



Fonte: CPTEC (2018)

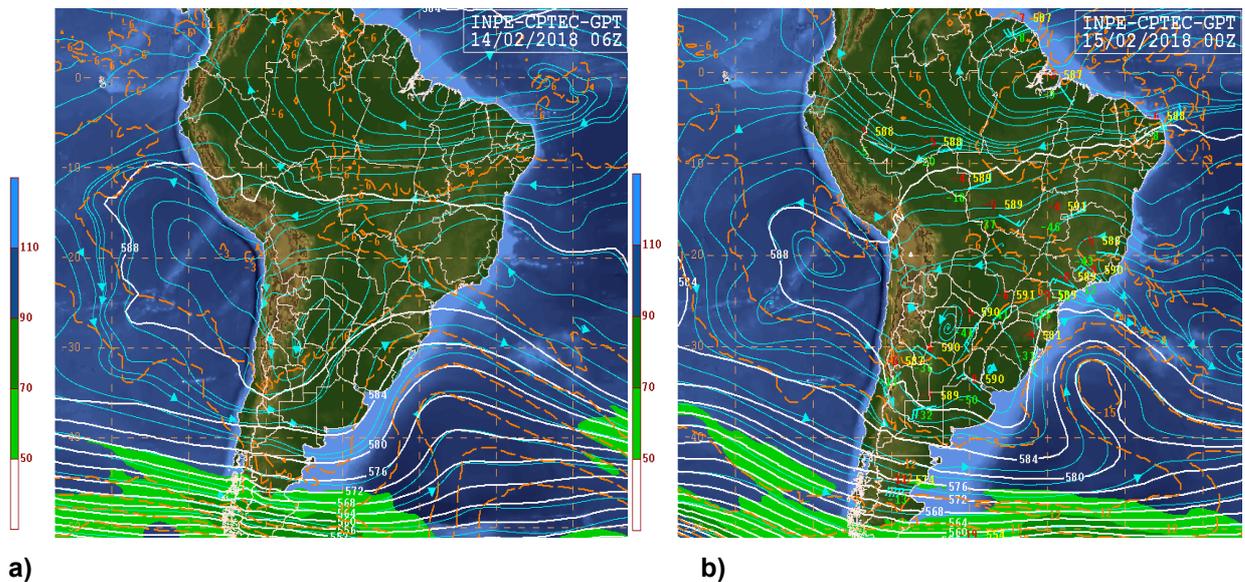
De acordo com as figuras acima, obtidas no site do CPTEC, observa-se um jato subtropical com sentido ciclônico passando com intensidade de 130 kt na carta das 06Z do dia 14, entre 30°S e 40°S de latitude, imagem 5a. Pode-se identificar que seu núcleo está localizado no oceano atlântico, dando suporte a frente fria em superfície.

É verificado também, a presença de uma crista que vai do Mato Grosso do sul, passando pelos estados de São Paulo, Minas Gerais e se estende até o Rio de Janeiro. Esse fenômeno associado a um pequeno ciclone em altos níveis, posição a 20S, está provocando difluência na alta atmosfera.

Na imagem 5b das 00Z do dia 15, as características sinóticas se mantiveram parecidas com a anterior, porém, há uma mudança no núcleo do jato e o cavado em 250 hpa se torna mais ciclônico e com o seu eixo mais voltado para o sentido oeste. As cartas das 00Z, 12Z e 18Z do dia 14, não foram constatadas variações significativas das condições sinóticas, por isso, não foram expostas às imagens para a análise.

Continuando a análise do ar superior, em níveis médios, verifica-se a carta de 500 hpa, mantendo o horário das 06Z do dia 14 e 00Z do dia 15, para observar possíveis forçantes que alimentaram a instabilidade do dia.

Figura 6: Cartas de altitudes de 500 hpa das 06Z do dia 14 de fev e 00Z do dia 15 de fev



Fonte: CPTEC (2018).

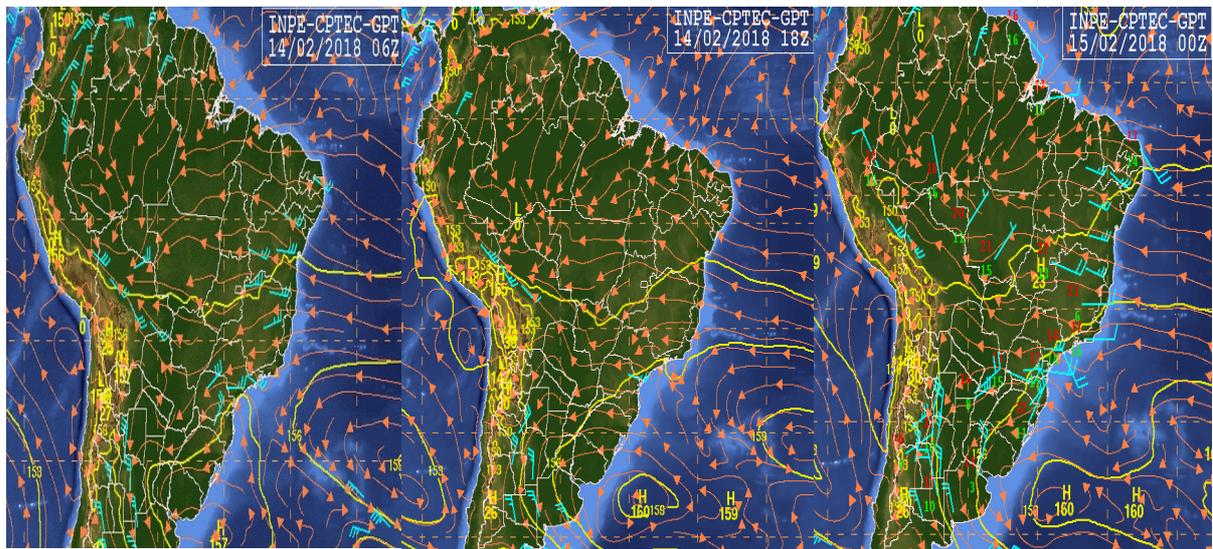
Nas figuras acima, da imagem 6a para a 6b, é possível verificar um cavado mais acentuado na segunda imagem. Ele está posicionado no sul do Brasil e seu eixo encontra-se voltado para o sentido oeste.

Além disso, é observado também uma evolução no anticiclone, posição 30S, que estende uma crista até o Distrito Federal. Esses dois fenômenos estão provocando uma confluência de ventos, entre 30S e 20S. Isso também é um fator que alimenta a instabilidade no local.

Não foram constatadas variações significativas nas condições sinóticas na carta das 00Z, 12Z e 18Z do dia 14, por isso, não foram expostas, nesse trabalho, as imagens para a análise.

Verificando agora os níveis baixos, analisa-se primeiramente a carta de 850 hpa.

Figura 7: Cartas de altitudes de 850 hpa das 06Z e 18Z do dia 14 de fev e 00Z do dia 15 de fev.



a)

b)

c)

Fonte: CPTEC (2018)

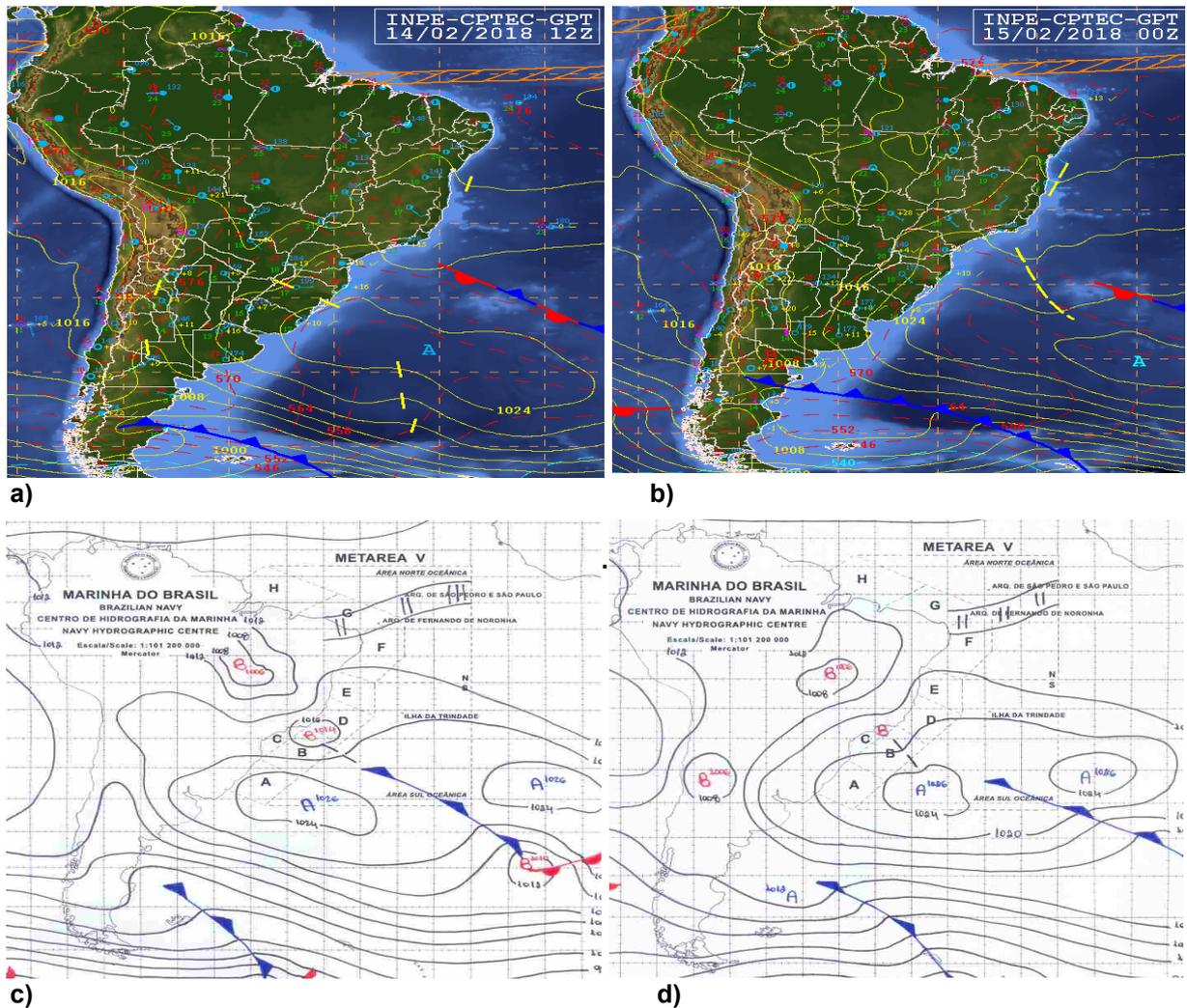
Nas imagens acima, é identificado um escoamento de leste e nordeste no sudeste do Brasil. A imagem 7a identifica que manteve a confluência dos ventos da carta de 500 hpa, entre 30S e 20S.

Também é mostrado as mesmas características na imagem 7b, porém, a confluência de ventos se propagou até o litoral do Rio de Janeiro.

Já na imagem 7c, começa a ser identificado um cavado do oceano atlântico, localizado próximo a 33S, até o sul do estado de Minas Gerais. Esse último é um ingrediente primordial para dar origem a tempestades convectivas. As cartas das 00Z e 12Z do dia 14, não foram constatadas variações significativas das condições sinóticas, por isso, não foram expostas às imagens para a análise.

Por último, analisa-se a carta de superfície. Foi acrescentado a carta da CHM as análises do CPTEC para uma melhor avaliação.

Figura 8: Carta de Superfície das 12Z do dia 14 de fev e 00Z do dia 15 de fev.



Fonte: figura (a) e (b) CPTEC (2018), figura (c) e (d) CHM (2018)

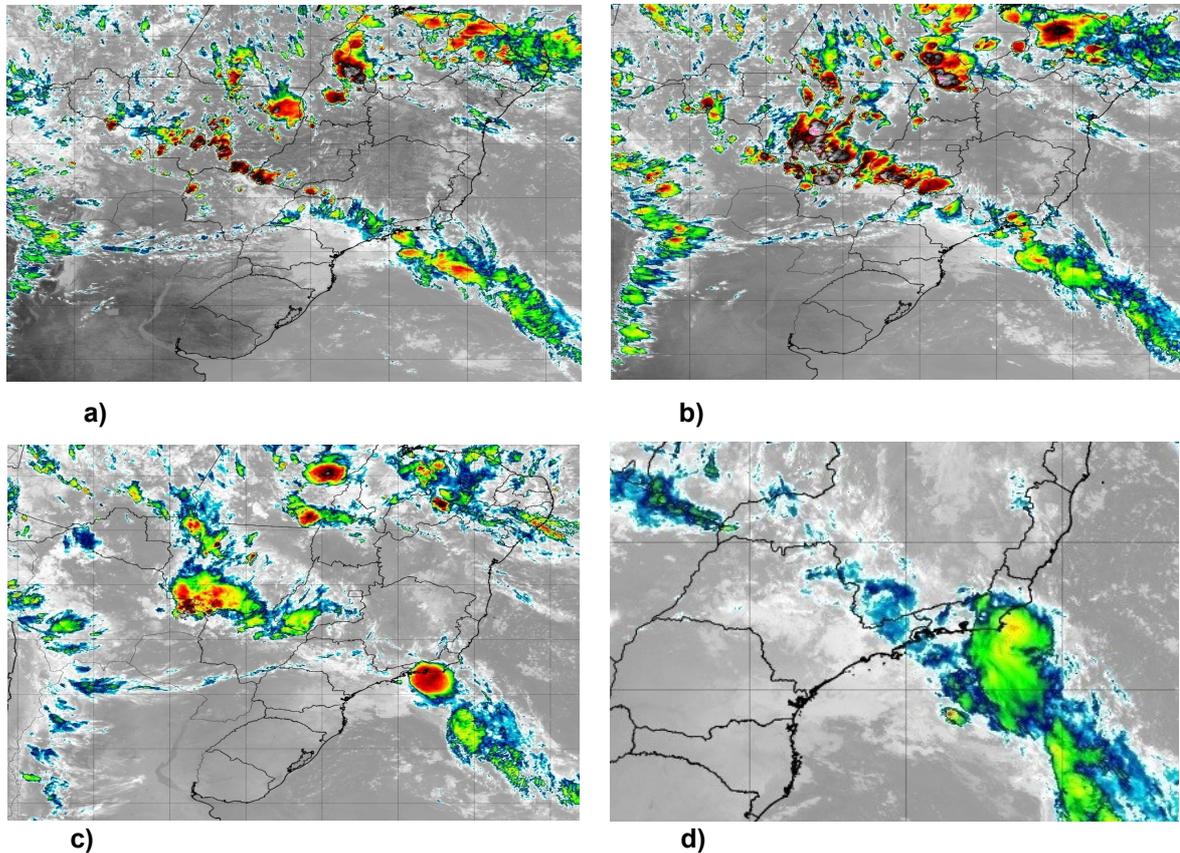
A figura 8 mostra uma frente fria atuando em superfície acompanhada de duas altas pressões de 1024 hpa. Essa frente está provocando precipitação do oceano atlântico até o centro-oeste do Brasil. É também percebido, a presença de um cavado atuando no litoral do estado do Rio de Janeiro, nas cartas das 00Z do dia 15, o que contribui para mais ocorrência de precipitação.

2.3.2 Análise de imagens meteorológicas

Verificando as imagens de satélite infravermelho, GOES-16, dos dias 14 e 15 de fevereiro de 2018, observa-se a influência de uma banda de nebulosidade que vai do oceano atlântico, passando pelo estado de São Paulo e Rio de Janeiro e se estendendo até o centro-oeste do Brasil. Analisando outros dados sinóticos tais como gradiente de temperatura, diferença de pressão ao nível médio do mar e as

linhas de corrente, foi possível observar a presença de uma frente fria em superfície atuando nessa área.

Figura 9: Imagens de satélite realçada (infravermelho) do dia 14 fev 18, a) 18Z b) 21Z e do dia 15 fev 18, c) 0230Z e d) 06Z.



Fonte: CPTEC (2018)

As figuras acima mostram a evolução da tempestade que atingiu a Terminal do Rio de Janeiro em um período de 12 horas.

A figura 9a sinaliza o começo do temporal. Nela, através de animação das imagens, foram identificados algumas células convectivas na região do litoral norte do estado de São Paulo, intensificando e deslocando-se para o setor nordeste. Nesse momento era possível prever que essas formações chegariam ao estado do Rio de Janeiro nas próximas horas.

A figura 9b mostra a Terminal do Rio de Janeiro sendo atingida pela tempestade tropical no aeródromo de Santa Cruz. Essa chegada foi confirmada com a observação meteorológica de superfície do local que informou trovoadas com chuva leve e nuvens CB a 3000ft de altitude. Ainda não era o instante de maior desenvolvimento da tempestade.

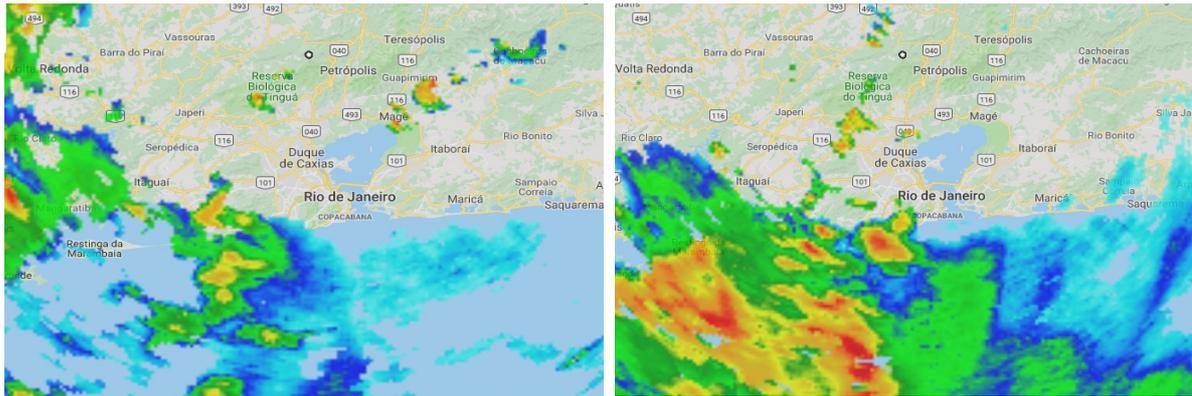
Na figura 9c, observa-se o momento que a tempestade atingiu o aeroporto do galeão, próximo das 0206z. Foi registrado um vento de superfície com 17 nós (34 km/h) e trovoadas com chuva forte. Logo em seguida, 24 minutos depois, foi gerado uma nova observação especial de piora nas condições do tempo. Foi informado um vento de 29 nós (58 km/h), a visibilidade horizontal caiu de 5000 metros para 300 metros devido à trovoadas com chuva forte. Também foi observado, a partir das 02Z, no aeródromo de Santa Cruz, um vento de superfície de 50 nós (100 km/h), visibilidade horizontal de 500 metros devido à trovoadas com chuva forte. Esse horário foi considerado o ponto de maior severidade do temporal, pois, a imagem infravermelha mostrou o topo da nuvem cumulonimbus próximo a -70° C de temperatura.

A carta de vento das 00Z do dia 15, foi analisada e mostrou que esta temperatura, encontrava-se acima do FL450 ou 45 mil pés. Isso indica que quanto mais frio o topo do CB, maior será o desenvolvimento vertical da célula e mais intenso será o fenômeno. Outros fatores importantes que indicaram a máxima intensidade são os valores registrados de velocidade do vento em superfície e a quantidade de precipitação. Das 23 horas do dia 14 as 01 hora do dia 15, horário local, ocorreu uma precipitação de 77 mm de chuva no pluviômetro localizado no aeródromo do Galeão.

Na figura 9d, é possível observar a dissipação da célula. O realce da imagem infravermelha não mostra mais a coloração avermelhada, cor que representa topos de nuvens mais frias e com desenvolvimento vertical maior. Além disso, a nebulosidade mais significativa, cor amarelada, já se localiza mais ao oceano atlântico. As observações de superfície já não registram mais precipitação, nem trovoadas e o vento em superfície se encontra mais calmo.

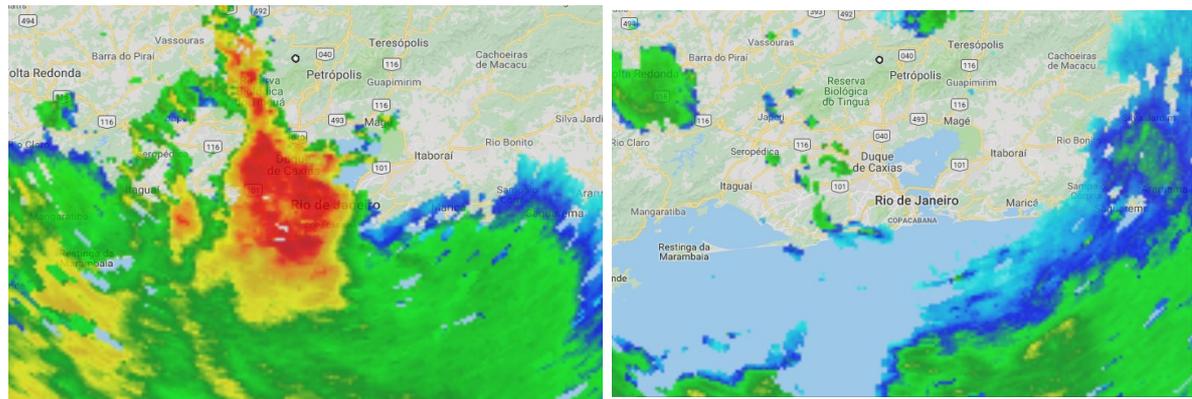
Além das Imagens de satélite, foram obtidas as imagens geradas pelo radar meteorológico do Pico do Couto, produto Maxxcappi, do mesmo período, no site da REDEMET. Esse produto informa, através da refletividade das nuvens (dBZ), área com potencial de gotas maiores e/ou gelo.

Figura 10: imagem de radar do Pico do Couto, produto Maxxcappi, do dia 14 fev 18, a) 2046Z b) 2346Z e do dia 15 fev 18, c) 0216Z e d) 0556Z.



a)

b)



c)

d)

Fonte: REDEMET (2018)

As imagens acima representam a evolução da tempestade convectiva no decorrer do tempo e espaço. Elas foram obtidas no site da REDEMET e as cores representam a intensidade em dBZ (refletividade), onde a cor vermelha, acima de 45 dBZ, representa alta refletividade (parte mais intensa) e a azul, abaixo de 20 dBZ, representa baixa (parte menos significativa). Abaixo, encontra-se a análise de cada imagem de acordo com a letra:

A imagem 10a sinaliza nuvens com refletividade próxima de 40dBZ no setor oeste do estado do Rio de Janeiro. Há também, células isoladas na região norte onde é possível identificar picos de 45 dBZ.

Na imagem 10b, Verifica-se um aglomerado de nuvens Cbs, com refletividade por volta de 50 dBZ, no litoral do Rio de Janeiro, se deslocando para nordeste e intensificando. Algumas células estão isoladas no setor norte.

A imagem 10c informa que a tempestade convectiva já estava configurada. Observa-se uma nuvem Cb englobando boa parte da Terminal do Rio de Janeiro com refletividade se mantendo próximo da figura anterior, de 50 dBZ, porém, em uma

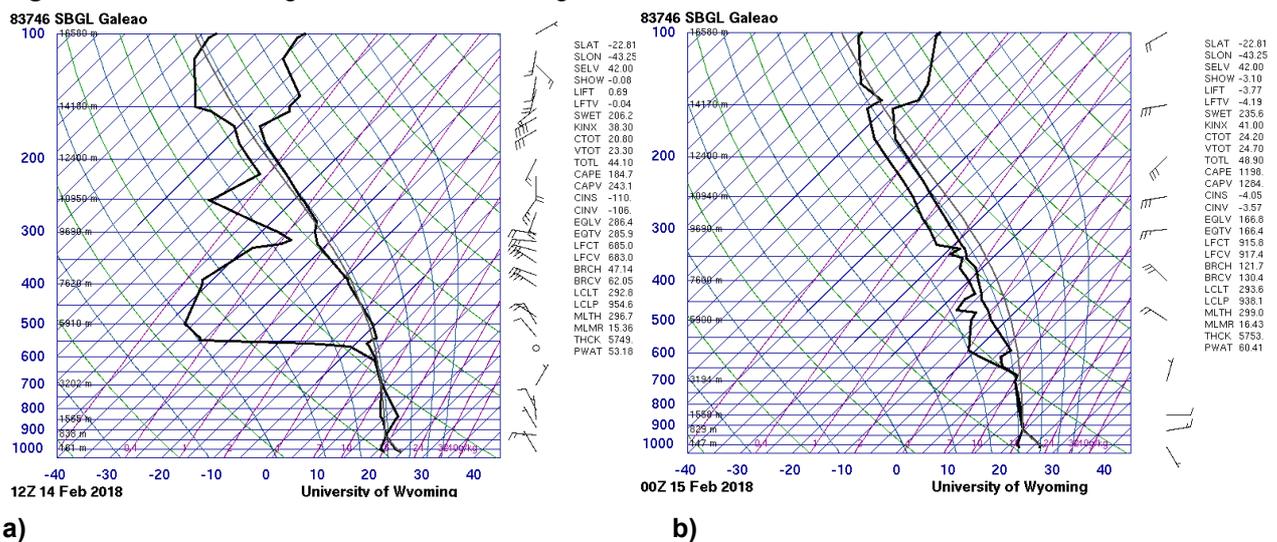
área bem maior. Esse horário está dentro do período de maior severidade do temporal.

A imagem 10d mostra a dissipação da célula. Já não há descargas elétricas na Terminal do Rio de Janeiro e a refletividade marca máxima de 30 dBZ, cor verde, no setor leste.

2.3.3 Análise de dados observados

Analisando as observações meteorológicas do dia da tempestade é possível identificar as forças que deram origem ao evento extremo. Verifica-se primeiramente a radiossondagem do DTCEA-GL para identificar os índices de instabilidade, ventos em altitude e umidade relativa. Depois será comparado com os dados de metares para uma melhor conclusão.

Figura 11: radiossondagem do aeródromo do galeão das 12Z do dia 14 de fev e 00Z do dia 15 de fev.



Fonte: Wyoming (2018).

A figura 11 mostra a observação de altitude no dia da tempestade. Através dela, é possível identificar o comportamento da atmosfera no dia. A figura 11a, das 12Z do dia 14 de fevereiro, mostra bastante umidade da superfície até o nível de 550 hpa. A partir desse nível, observa-se um ressecamento da atmosfera ocasionada pelo posicionamento de uma crista que tá provocando subsidência do ar, conforme verificado na Figura 4. Outro ponto importante são os índices de instabilidades que acusaram um $K = 38$, Showalter = -0.08 e Total = 44 . Isso indica que a atmosfera, no horário da manhã, já encontrava-se com um potencial de formação de nuvens convectivas.

Já a figura 11b, das 00Z do dia 15, identifica-se uma atmosfera mais úmida, devido à linha de temperatura estar mais próxima da linha do ponto de orvalho, principalmente nos níveis baixos e médios. Isso é confirmado no metar do galeão, das 00z do dia 15, que registraram nebulosidades espaças a 2000 pés (ft) e nublado a 3000 pés (ft). Os índices de instabilidades, $K = 41$, Showalter = -3.10 e Total = 48.90 , mostraram um aumento mais significativo no potencial de nuvens de tempestades.

A intensidade do temporal foi registrada nos Metares e Specis dos aeródromos do Rio de Janeiro e será analisada neste trabalho somente as principais.

Quadro 1: Metares e Specis do aeródromo de Santa Cruz das 20Z as 0315Z e 06Z do dia 15 de fev

```

METAR SBSC 142000Z 18008KT 4000 -RA BR BKN010 FEW030TCU OVC050 24/23
Q1016=
METAR SBSC 142100Z 14005KT 5000 -TSRA BR BKN012 FEW030CB OVC050 24/23
Q1016=
SPECI SBSC 142142Z 17005KT 6000 BKN014 FEW030TCU OVC040 24/23 Q1016
RETS=
METAR SBSC 150100Z 31003KT 3000 TSRA SCT014 FEW025CB OVC027 24/23 Q1017
=
SPECI SBSC 150110Z 29006KT 1500 +TSRA BKN014 FEW025CB OVC027 24/23
Q1018=
SPECI SBSC 150125Z 21015G29KT 1000 +TSRA BKN006 FEW025CB OVC027 21/21
Q1018=
METAR SBSC 150200Z 18035G50KT 0500 +TSRA BKN005 FEW025CB OVC027 20/20
Q1018=
METAR SBSC 150300Z 11013G28KT 2000 +TSRA BKN010 FEW025CB OVC030 21/19
Q1018=
SPECI SBSC 150315Z 01007KT 5000 -TSRA SCT010 FEW030CB OVC040 21/19 Q1018
RERA=
METAR SBSC 150500Z 02007KT 8000 -RA FEW010 BKN040 BKN080 21/19 Q1017
RETS =
METAR SBSC 150600Z 05007KT 9999 SCT040 BKN080 21/19 Q1017=

```

Fonte: REDEMETS (2018).

O quadro 1 mostra que as 20Z do dia 14 de fevereiro, ocorria uma precipitação leve, reduzindo a visibilidade a 4 km e nuvens Torres de Cumulus a 3000ft. As 21Z, o vento permanecia de sul com 5 nós de intensidade e visibilidade de 5 km devido à trovoadas com chuva leve. Após 42 min, houve uma melhora nas condições do tempo, dando uma falsa impressão que a célula convectiva teria cessada. Porém a 01Z, o vento gira para noroeste e a visibilidade volta a diminuir passando para 3 km devido à trovoadas com chuva moderada. Logo após, acontece três pioras nas condições, a visibilidade cai para 1500, 1000 e 500 metros devido à trovoadas com

chuva forte e o vento gira novamente para sul, registrando um pico de 50 nós de intensidade. A trovoada com chuva se estendeu até as 05Z e a partir das 06Z, já não havia mais descargas elétricas e precipitação.

Quadro 2: Metares e Specis do aeródromo do Galeão das 02Z as 05Z e 06Z do dia 15 de fev.

```

METAR SBGL 150200Z 08016KT 9999 SCT025 BKN030 OVC060 26/23 Q1016=
SPECI SBGL 150206Z 07017KT 5000 +TSRA SCT025 BKN030 FEW035CB OVC040
25/23 Q1017=
SPECI SBGL 150230Z 28029KT 0300 R15/0650 R10/1700 R28/P2000 R33/P2000
+TSRA SCT009 BKN012 BKN017 FEW020CB 23/21 Q1017=
METAR COR SBGL 150300Z VRB30KT 0100 R15///// R28/0400 R10/0500 R33/0600
+TSRA VV006 ///CB 21/20 Q1018=
SPECI SBGL 150343Z 13013G23KT 2000 +TSRA BKN012 BKN024 FEW025CB OVC100
23/21 Q1017=
METAR SBGL 150400Z 13009KT 5000 -TSRA SCT008 SCT012 BKN020 FEW025CB
25/21 Q1017 RERA=
METAR SBGL 150600Z 30006KT 9999 BKN015 BKN021 OVC100 23/21 Q1016 RETS=

```

Fonte: REDEMET (2018)

O quadro 2 mostra que as 02Z, o vento a superfície do Galeão era de 80 graus com 16 nós de intensidade, a visibilidade horizontal estava boa, acima de 10 km e a atmosfera encontrava-se com três camadas de nuvens baixas, porém sem indicação de nuvens Cb. Logo após, 6 min, já identificava a chegada da tempestade, no aeroporto do Galeão, com vento a superfície de 70 graus com 17 nós, a visibilidade diminuiu para 5 km devido à trovoada com chuva forte e informando poucas nuvem de Cb a 3500ft.

As 02:30Z houve uma piora nas condições do tempo, indicando o período mais intenso do fenômeno, registrando um vento de 280 graus com 29 nós, visibilidade predominante diminuiu para 300 metros devido à trovoada com chuva forte. Observa-se que a precipitação intensa ocorreu até as 04z, vindo a melhorar totalmente no próximo horário. Outras observações meteorológicas a superfície foram analisadas, porém não houve a necessidade de expor nesse trabalho por que as condições de tempo se mantiveram instáveis e parecidas com as registradas acima.

3. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa foi feita com o objetivo de identificar as forçantes e ingredientes, os quais favoreceram o desenvolvimento extremo do temporal na Terminal do Rio de Janeiro.

Por meio da análise vertical da atmosfera, verificou-se as primeiras forçantes na carta de 250 hpa. A presença de uma corrente de jato subtropical e um cavado, no sul do Brasil, deram suporte a frente fria que estava atuando em superfície.

Outra forçante encontrada, foi uma confluência de ventos no nível de 500 hpa causado pela presença de um cavado, no sul do país, associado ao escoamento do anticiclone, posição 30S. Isto contribui para manter a atmosfera instável em médios níveis.

Já os níveis baixos, da superfície até 850 hpa, observou-se a presença de um cavado no oceano atlântico que estendia até o litoral, entre o estado de São paulo e Rio de Janeiro. Além do cavado, havia uma frente fria atuando no sudeste do Brasil. Estes dois fenômenos provocam tempo instável e podem dar origem a precipitação intensa por onde passa.

Concluiu-se também, que os ingredientes as quais contribuíram para o desenvolvimento da tempestade foram: a umidade relativa elevada, o sistema frontal em superfície e a atmosfera instável.

A sondagem das 12Z do dia 14 de fevereiro, mostrou bastante umidade da superfície até o nível de 500 hpa. Os índices de instabilidades acusaram um $K = 38$, Showalter = -0.08 e Total = 44 , indicando que a atmosfera, no horário da manhã, já encontrava-se com um potencial de formação de nuvens convectivas.

A sondagem das 00Z do dia 15, identificou uma atmosfera mais úmida. Os índices de instabilidades registraram $K = 41$, Showalter = -3.10 e Total = 48.90 , mostrando um aumento mais significativo no potencial de nuvens de tempestades.

Foi possível verificar a evolução do sistema no período de 18Z do dia 14 de fevereiro até 06Z do dia 15 de fevereiro de 2018. Observou-se, nas imagens de satélite do GOES-16, que as 18Z, já havia algumas células convectivas na região do litoral norte do estado de São Paulo, intensificando e deslocando-se para o setor nordeste.

As 21Z, a Terminal do Rio de Janeiro foi atingida pela tempestade tropical no aeródromo de Santa Cruz com a temperatura do topo da nuvem próximo de -60°C . Por volta deste horário, as 20:46Z, o radar meteorológico já registrava células isoladas com uma refletividade próxima de 40dBZ no setor oeste do estado. Havia também, Cbs isoladas na região norte, onde foi possível identificar picos de 45 dBZ. O somatório de todos as forçantes e ingrediente encontrados no dia do evento, fizeram com que nuvens convectivas se desenvolvessem, dando características a tempestade mencionada nessa pesquisa.

Como sugestão para próximos trabalhos análogos a este, recomenda-se gerar o produto PPI do radar meteorológico, para tentar identificar a direção e velocidade do vento com maior precisão e verificar possíveis formações de tornados e/ ou frente de rajadas. Além disso, rodar o modelo WRF, com 24 horas da ocorrência do fenômeno, para constata, se é possível prognosticar uma tempestade convectiva extrema.

REFERÊNCIAS

American Meteorological Society (AMS). **Glossary of Meteorology**. Disponível em: < <https://www.ametsoc.org/aMS/index.cfm/publications/glossary-of-meteorology/> >. Acesso em: 24 de abril de 2018.

ANDRADE, K. M; PINHEIRO, H. R; NETO, G. D. **Evento extremo de chuva no Rio de Janeiro: análise sinótica, previsão numérica e comparação com eventos anteriores**. 2013. Revista Ciência e Natura – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC - INPE), Cachoeira Paulista, SP, 2013.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 105 – 2 de 22 de dezembro de 2016**. Classificação dos Órgãos Operacionais de Meteorologia Aeronáutica. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). **A Previsão de Tempo nos Novos Tempos**. Disponível em: < <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml> >. Acesso em: 26 de março de 2018.

CERQUEIRA, F. S. et al. **Ameaça à Aviação**. 2005. Artigo Científico – Instituto de Controle do Espaço Aéreo, São José dos Campos, SP, 2005.

CLIMATEMPO. **Qual a diferença entre cavado e frente fria?** Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/06/22/qual-a-diferenca-entre-cavado-e-frente-fria--4924> >. Acesso em: 19 de maio de 2018.

CLIMATEMPO. **Rio de Janeiro entrou em estágio de crise por causa do temporal**. Disponível em: < <https://www.climatempo.com.br/noticia/2018/02/15/rio-de-janeiro-entrou-em-estagio-de-crise-por-causa-do-temporal-6904> >. Acesso em: 26 de março de 2018.

COELHO, S. A. **Avaliação do prognóstico de precipitação para os diferentes esquemas de microfísica gerados pelo modelo de mesoescala WRF na região de Brasília – DF**. 2013. Artigo Científico – Instituto de Controle do Espaço Aéreo, São José dos Campos, SP, 2013.

DERECZYNSKI, C. P; OLIVEIRA, J. S; MACHADO, C. O. **Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro**. 2008. Revista Brasileira de

Meteorologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências – Departamento de Meteorologia, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

DIAS, V. S. **Análise dos índices de instabilidade para previsão de formações convectivas severas para a região do aeródromo do Galeão, Aeroporto Tom Jobim.** 2008. Artigo Científico – Instituto de Controle do Espaço Aéreo, São José dos Campos, SP, 2008.

DOSWEL, C. A; BROOK, H. E; MADDO, R. A. **Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology.** 1996. Artigo Científico – NOAA/Environmental Research Laboratories, National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma, 1996.

ESCOBAR, G; ANDRADE, K. **Climatologia dos índices de instabilidade K e Total Totals (TT) para o Sul e Sudeste do Brasil.** 2007. Artigo Científico – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC - INPE), Cachoeira Paulista, SP, 2007.

GEORGE, J. J. **Weather Forecasting for Aeronautics.** Academic Press, 673 pp., 1960.

JORNAL GLOBO (G1). **Após temporal, Rio ainda tem previsão de chuva forte.** Disponível em: < <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/apos-temporal-rio-ainda-tem-previsao-de-chuva-forte.ghtml> >. Acesso em: 26 de março de 2018.

JORNAL GLOBO. **Fenômeno atmosférico-oceânico provoca inúmeras mudanças climáticas no Brasil e no mundo.** Disponível em < educacao.globo.com/artigo/el-nino-e-la-nina.html >. Acesso em: 21 de abril de 2018.

JORNAL O GLOBO (O GLOBO). **Rio teve mais de sete mil raios em quatro horas durante temporal.** Disponível em: < <https://oglobo.globo.com/rio/rio-teve-mais-de-sete-mil-raios-em-quatro-horas-durante-temporal-22399477> >. Acesso em: 26 de março de 2018.

MOTTA, Ronaldo Seroa et al. **Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** Brasília: IPEA, 2011.

NOGUEIRA, J. H. A. **Sensibilidade da precipitação simulada na região do Centro de Lançamento de Alcântara a esquemas de convecção explícita: Estudos de**

caso. 2010. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2010.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R, L; FERREIRA, N, J. **Meteorologia Fundamental.** São Paulo: EDIFAPES, 2001.

Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET). **CUIDADO, CUMULONIMBUS NA ÁREA!** Disponível em: < <https://www.redemet.aer.mil.br/uploads/2014/04/cumulonimbus.pdf> >. Acesso em: 17 de maio de 2018.

Tempo João Pessoa (TEMPOJOÃOPESSOA). **Formação das nuvens Cumulonimbus.** Disponível em:< <https://tempojoaopessoa.jimdo.com/formação-das-nuvens-cumulonimbus/> >. Acesso em: 22 de maio de 2018.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Recife: Versão digital 2, 2006.