Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

# ANÁLISE EPISÓDICA DO DOWNBURST DO DIA QUATORZE DE FEVEREIRO DE 2018, NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

## *Episodic analysis of a downburst on February 14, 2018, in de city of Rio de Janeiro*

## *Análisis de un episodio de downburst del 14 de febrero de 2018, em la ciudad de Rio de Janeiro*

**Ian Verdan da Silva**
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ianverdan2@gmail.com

**Antonio Carlos Oscar-Júnior**
Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro
antonio.junior@uerj.br

**Resumo:** Desde o século XVIII o Rio de Janeiro é afetado por eventos extremos de precipitação, os quais acarretam uma série de transtornos no espaço urbano, por meio de inundações e movimentos de massa. Dentre inúmeros eventos, o ocorrido no dia quatorze de fevereiro de 2018, possui características peculiares, uma vez que precipitou 51 mm em 1h. Dessa forma, objetivou-se, através da análise rítmica, compreender o evento de maneira dinâmica, dando atenção aos impactos causados na bacia do rio Piraquê-Cabuçu, no município do Rio de Janeiro. Para tal, foram levantados dados para a caracterização da gênese do fenômeno, buscando individualizar os tipos de tempo atmosféricos, através do acompanhamento de seus ritmos. Para a consecução do objetivo, no que tange ao arcabouço metodológico, o estudo recorreu a dados meteorológicos e maregráficos, imagens de satélite, radar meteorológico, cartas sinóticas, dados de reanálise e o Diagrama de Skew-T Log P, além de dados hemerográficos. Com tudo, muito provavelmente o episódio de inundação esteve associado à ocorrência de um evento de *downburst*, pois os dados corroboram a existência de uma amálgama de condicionantes meteorológicos característicos de tais processos: perda de sustentação e consequente movimento descente de uma parcela de cumulonimbus, o total pluviométrico concentrado e os elevados índices de instabilidade, como o valor de 1.198 J/kg para o índice CAPE. Dadas características genéticas do evento, além do alto grau de antropização da bacia, como consequência os impactos afetaram cerca de 50.000 pessoas e provocaram repercussões na área de estudo por, pelo menos, 7 dias.

**Palavras-chave:** Análise Rítmica. Downburst. Rio Piraquê-Cabuçu. Inundações.

**Abstract:** Since the 18th century, Rio de Janeiro has been affected by extreme precipitation events, which cause a series of disturbances in the urban space, through floods and mass movements. Among numerous events, the one that occurred on February 14, 2018, has peculiar characteristics, as it precipitated 51 mm in 1 hour. Thus, the objective was, through rhythmic analysis, to understand the event dynamically, paying attention to the impacts caused in the Piraquê-Cabuçu river basin, in the municipality of Rio de Janeiro. For this, data were collected to characterize the genesis of the phenomenon, seeking to individualize the types of atmospheric weather, through the monitoring of their rhythms. To achieve the objective, with regard to the methodological framework, the study used meteorological and tide data, satellite images, meteorological radar, synoptic charts, reanalysis data and the Skew-T Log P Diagram, in addition to hemerographic data. However, most likely the flooding episode was associated with the occurrence of a downburst event, as the data corroborate the existence of an amalgam of meteorological conditions characteristic of such processes: loss of lift and consequent downward movement of a cumulonimbus parcel, the total concentrated rainfall and high levels of instability, such as the value of 1,198 J/kg for the CAPE index. Given the genetic characteristics of the event, in addition to the high degree of anthropization of the basin, as a consequence the impacts affected about 50,000 people and caused repercussions in the study area for at least 7 days.
**Keywords:** Rhythmic Analysis. Downburst. River Piraquê-Cabuçu. Floods.

**Resumen:** Desde el siglo XVIII, Río de Janeiro es afectado por eventos extremos de precipitación, que provocan una serie de perturbaciones en el espacio urbano, a través de inundaciones y movimientos en masa. Entre numerosos eventos, el ocurrido el 14 de febrero de 2018, tiene características peculiares, pues precipitó 51 mm en 1 hora. Así, el objetivo fue, a través del análisis rítmico, comprender dinámicamente el evento, prestando atención a los impactos causados en la cuenca del río Piraquê-Cabuçu, en el municipio de Río de Janeiro. Para ello, se recolectaron datos para caracterizar la génesis del fenómeno, buscando individualizar los tipos de clima atmosférico, a través del monitoreo de sus ritmos. Para lograr el objetivo, en cuanto al marco metodológico, el estudio utilizó datos meteorológicos y de mareas, imágenes de satélite, radar meteorológico, cuadros sinópticos, datos de reanálisis y el Diagrama Skew-T Log P, además de datos hemerográficos. Sin embargo, lo más probable es que el episodio de inundación estuviera asociado con la ocurrencia de un evento de derrumbe, ya que los datos corroboran la existencia de una amalgama de condiciones meteorológicas características de tales procesos: pérdida de sustentación y consecuente movimiento hacia abajo de una parcela cumulonimbus, la precipitación total concentrada y altos niveles de inestabilidad, como el valor de 1.198 J/kg para el índice CAPE. Dadas las características genéticas del evento, además del alto grado de antropización de la cuenca, como consecuencia los impactos afectaron a unas 50.000 personas y repercutieron en la zona de estudio durante al menos 7 días.
**Palabras clave:** Análisis Rítmico. Downburst. Río Piraquê-Cabuçu. Inundaciones.

Submetido em: 04/08/2022
Aceito para publicação em: 31/01/2023
Publicado em: 06/03/2023

# 1. INTRODUÇÃO

A partir dos dados disponibilizados pelo EM-DAT (Emergency Events Database), mantido pelo Centro de Pesquisas em Epidemiologia de Desastres da Universidade Católica de Louvain, entre 1900 e 2021, apesar das limitações acerca da base de dados (MARCELINO; NUNES; KOBIYAMA, 2006), o mundo, principalmente em sua porção urbana, totalizou 3.877.333.145 pessoas afetadas por inundações, das quais 6.991.839 morreram. De acordo com Jha et al. (2012), considerando os mesmos dados até 2011, um olhar atento sobre os afetados revela que o impacto das inundações é desproporcional, muito mais significativo para os pobres, particularmente mulheres e crianças. Esses dados ajudam a dimensionar e qualificar a importância da problemática em tela.

No caso do Rio de Janeiro, as inundações urbanas se confundem com a própria história da cidade, vertendo facilmente em uma de muitas linhas narrativas. De acordo com Maia (2012), em 1575 o padre José de Anchieta descrevia, em carta, a fúria das águas pluviais, já Brandão (2009) encontrou registros de inundação em jornais desde 1613 causando impactos no cotidiano de seus habitantes. A história do Rio de Janeiro (e de outras cidades), contada a partir das inundações (e demais impactos ambientais), revela a dualidade “abrigo-ameaça” no urbano, uma vez que a morada da população, a partir de transformações dinâmicas e recíprocas da natureza e da sociedade, oferece, de forma desigual, risco a seus moradores (ALMEIDA, 2014; COELHO, 2009).

Em quatorze de fevereiro de 2018 ocorreu outro grande episódio de inundação no município em decorrência de acumulado de 51 mm de chuva em 1 hora. Trata-se de um evento pluviométrico que se espalhou desde a Baia de Sepetiba até a Zona Sul do município, deixando mais de 500 famílias desalojadas e levando 4 pessoas a óbito (G1, 15/02/2018). Sua ocorrência em uma quarta-feira de cinzas, momento em que um grande volume de lixo, produzido durante o carnaval ainda não tinha sido recolhido, dificultou o adequado escoamento da água pela infraestrutura de drenagem urbana que já guarda suas deficiências estruturais.

Em Rocha Miranda, bairro da Zona Norte do município do Rio de Janeiro, o rio das Pedras transbordou, provocando episódio de enchente que cobriu quase todas as ruas do bairro. Em toda a cidade, segundo o G1, foram verificados 95 km de congestionamentos após

o temporal. No bairro de São Conrado, na Zona Sul do município, diversas ruas ficaram submersas e um fragmento da ciclovia Tim Maia desabou. No sub-bairro do Magarça, em Guaratiba, na Zona Oeste do Rio de Janeiro, várias ruas ficaram cerca de uma semana debaixo d'água e as residências ficaram sem energia elétrica e isoladas durantes dias.

Nesta perspectiva, recorrendo aos fundamentos da climatologia geográfica, em especial a necessidade de uma abordagem dos processos desde sua gênese (ARMOND; OSCAR JR, 2018), o trabalho tem como objetivo avaliar, de maneira dinâmica, o episódio ocorrido no dia quatorze de fevereiro de 2018, de modo a oferecer uma compreensão dos processos associados à concentração da chuva e deflagração de impactos na bacia do rio Piraquê-Cabuçu. A análise episódica reveste-se de grande importância para a climatologia geográfica uma vez que dá sustentação a tríade clima - ação antrópica - impacto ambiental (SANT'ANNA NETO, 2001), contribuindo cientificamente para a compreensão dos processos atmosféricos, bem como ao planejamento do território e gestão dos riscos.

De acordo com Monteiro (1976) a cidade pode ser entendida como o lugar onde as interações entre o homem e natureza se estreitam, margeando o surgimento de resultantes ambientais que se configuram em uma obra conjunta, modelada às finalidades do viver humano. De acordo com ele, devemos ver na cidade "não um antagonismo entre o homem e a natureza, mas uma coparticipação" (p. 77). Desta forma, o clima urbano engloba um fator natural, representado pelo ambiente e pelo clima local, acrescido a um fator social, que no caso, trata-se da cidade e das práticas urbanas nela inseridas.

As alterações de energia que se dão no canal hidrometeórico, segundo Monteiro (1976), têm como consequência inúmeros processos deflagrados por perturbações pluviométricas, como as inundações e os deslizamentos urbanos; esses impactos ocorrem pela existência de disritmias no sistema. As atividades e as práticas presentes nos espaços urbanos são capazes de gerar núcleos de condensação e fluxos convectivos, os quais refletem diretamente no aumento da nebulosidade, da convectividade e, consequentemente, da pluviosidade (GONCALVES; CONTI, 1992). Contudo, para Monteiro (1976), a ocorrência de fenômenos no canal hidrometeórico também tem repercussão da morfologia do sítio urbano, levando a ocorrência de eventos de alta magnitude. Além disso, são eventos que demandam análise discreta, por obedecerem a uma distribuição episódica, altamente relevante aos

estudos da Geografia, afinal são eles que de forma concreta guardam relação direta com os impactos deflagrados, conforme a concepção sorreana de clima.

Segundo Monteiro (1971) pode-se entender como ritmo climático a "sucessão dos estados atmosféricos", conduzindo diretamente a ideia de habitualidade, ou seja, aquilo que ocorre com certa frequência em um dado local; porém existem variações que são capazes de gerar inúmeras distorções, margeado o surgimento de padrões "extremos". Esses eventos encontram-se inseridos dentro daquilo que vem a ser o "habitual climático", pois representam sensíveis irregularidades no ritmo das condições atmosféricas.

Visando observar a ocorrência de "eventos calamitosos" frente à periodicidade climática, Monteiro (1971) propôs uma metodologia, denominada Análise Rítmica, que busca individualizar os tipos de tempo atmosféricos e seu encadeamento, observado através de dados secundários. Para Monteiro (1971), a análise é suficiente para fornecer parâmetros pertinentes a observação dos diferentes e variados problemas, seu detalhamento, em nível de "tempo", é capaz de revelar a gênese dos fenômenos climáticos, através da interação dos elementos e fatores do clima. Segundo Borsato e Souza-Filho (2008), pode-se inferir que o objetivo da Análise Rítmica, à vista disso, é a caracterização do tempo atmosférico através da dinâmica de circulação regional, aplicando um diagnóstico minucioso, pelo acompanhamento da evolução de variáveis que se distribuem pelo espaço geográfico.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho abrange dois momentos complementares: o primeiro onde dados secundários foram coletados e tabulados, possibilitando o entendimento da magnitude e da distribuição temporal do evento ocorrido nas estações selecionadas; e o segundo, onde foram efetuadas, com esses dados previamente trabalhados, duas análises rítmicas, possibilitando o entendimento do episódio pela comparação de seus atributos ao longo de dois períodos, com um recorte diário e horário.

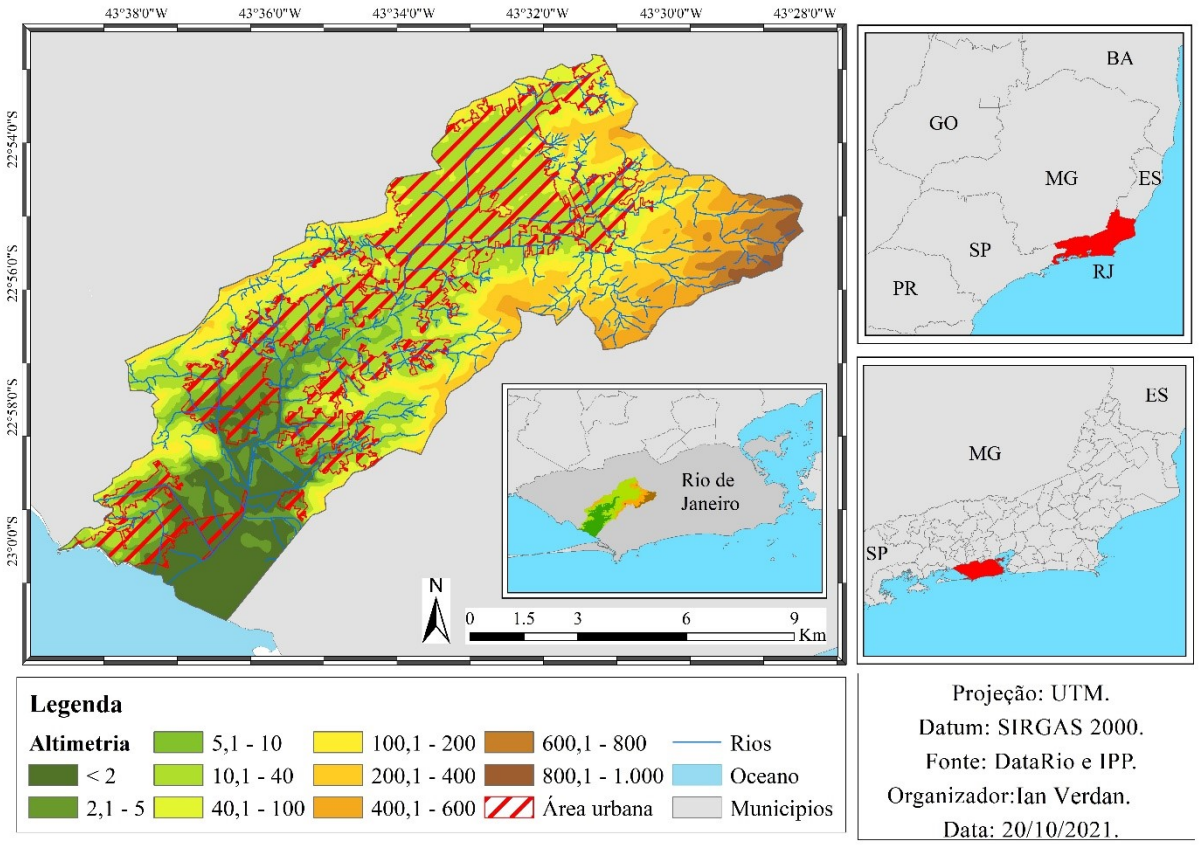
### 2.1. Caracterização da área de estudo

O rio Piraquê-Cabuçu localiza-se na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, sua nascente encontra-se no morro do Lameirão, no Parque Estadual da Pedra Branca, e sua foz

na Baía de Sepetiba. A área de drenagem é de aproximadamente 108 km², abrangendo os bairros de Senador Vasconcelos, Campo Grande, Guaratiba, Inhoaíba e Pedra de Guaratiba, além de Senador Camará e Santíssimo, inseridos na macrozona de ocupação assistida e ocupação condicionada.

Na bacia observa-se a existência de grandes terrenos cujas cotas altimétricas encontram-se abaixo de 5 metros de altura e distam 10 km da costa, caso de todo o baixo curso do rio, segundo mostra a Figura 1. Outra característica relevante diz respeito ao solo e a vegetação nativa. Inicialmente está área era coberta com uma extensa e densa cobertura de mangue, sobreposta em gleissolo, que possui como característica básica o hidromorfismo de ferro e alumínio, configuração natural que por si só denota um local constantemente inundado, impossibilitando a ocupação. Esta configuração dos atributos físicos, acrescida a eventos de chuva intensa, ocasionam inundações generalizadas, evidenciando a suscetibilidade da bacia aos impactos pluviométricos, elevando a exposição do sistema e o risco da população.

**Figura 1** - Mapa de altimetria da bacia, com destaque para as áreas urbanas e os rios.




**Fonte:** Autores (2021).

## 2.2. Dados e métodos

Para a coleta de dados secundários meteorológicos foram selecionadas três estações geridas pelo AlertaRio, uma apenas com dados pluviométricos, localiza a montante da bacia, no bairro de Campo Grande. A segunda, com dados de temperatura e umidade do ar, localizada no bairro de Santa Cruz, não inserida na bacia, mas pertencente a sua zona de influência, compartilhando das mesmas forçantes climáticas que ocasionaram o episódio. As demais informações necessárias para a confecção da análise rítmica foram coletadas na estação de Guaratiba, já que para o período de estudo a estação de Santa Cruz não obtinha dados referentes à pressão atmosférica, a velocidade e a direção do vento. Infelizmente nenhuma estação meteorológica realiza o monitoramento de rajadas, dado importante para o escopo desse estudo, entretanto, para contornar essa lacuna, foram utilizados dados de reanálise do ERA-5 sobre vorticidade vertical, possibilitando a análise de ascensão e subsidência atmosférica. Após a seleção das estações, os dados foram tabulados com o auxílio do Microsoft Office Excel, em escala horária e diária.

Cabe salientar que no período de ocorrência do evento o litoral do Rio de Janeiro estava passando por uma maré meteorológica de sizígia. Trata-se de um fenômeno que ocorre a partir do jogo gravitacional e movimentação dos astros, provocando variações de período e amplitude e, consequentemente, subida e descida do nível dos corpos hídricos. Desta forma, a maré astronômica é um fenômeno periódico (Quinn, Atkinson e Wells, 2012) que podem ser classificadas em de sizígia e de quadratura. As marés de sizígia ocorrem quando a Terra, a Lua e o Sol estão em um mesmo alinhamento, produzindo as maiores amplitudes de maré, as maiores preamares e menores baixa-mares; estando o Sol e a Lua em conjunção, situação de Lua Nova; ou em oposição, situação de Lua Cheia. (Alfredini e Arasaki, 2009).

Com o intuito de obter informações acerca da variação da maré, foi efetuada uma busca por estações maregráficas no site da Marinha do Brasil, e os dados da estação do Terminal da Ternium, localizada no interior da Baía de Sepetiba, foram acoplados à analise rítmica.

A análise rítmica foi elaborada em escala diária e horária, visando demostrar de forma individual os tipos de tempo atmosférico, acompanhando e comparando seus ritmos através de períodos de 24h ao longo de duas semanas e de 1h no decorrer de um dia, proporcionando

uma avaliação do fenômeno em diferentes perspectivas temporais, afinal os processos que se propagam ao longo de uma semana, como uma frente fria percebidos em escala diária, enquanto outros se propagam em baixa frequência (períodos curtos), como o *downburst* que se manifestam em escala horária.

De forma complementar, com vistas à compreensão da dinâmica atmosférica, foi realizada a análise conjunta dos diagramas de Skew-T Log P que descreve o perfil vertical da atmosfera, das cartas sinóticas da Marinha do Brasil que descreve a circulação regional, das imagens do canal 13 do satélite GOES16 disponibilizadas pelo INPE que na faixa do infravermelho ajudam na estimativa da temperatura do topo das nuvens e, consequentemente informa sobre seu desenvolvimento vertical e potencial de precipitação e, finalmente das imagens do radar meteorológico mantido pela prefeitura do município do Rio de Janeiro, com estimativas de precipitação através de varreduras atmosféricas com feixes de micro-ondas giratório.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a execução dos procedimentos metodológicos foi efetuada uma análise dos resultados obtidos, possibilitando uma análise multiescalar à luz do ritmo do tempo atmosférico; por fim, foram analisados os dados de radiossondagens, para inferir o nível de instabilidade atmosférica, e as imagens do radar meteorológico que permitiram revelar que o episódio de inundação em analise foi deflagrado por um evento de downbursts.

### 3.1. Ritmo do evento intenso de chuva de 14/02/2018

Com base na análise rítmica diária (Figura 2), é possível notar a intrínseca relação de antagonismo entre temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica, pois dias antes da ocorrência do episódio houve um declínio da temperatura, e um aumento da pressão e da umidade, configurando uma condição peculiar de saturação do ar, através do alcance do ponto de orvalho, criando meios para uma precipitação volumosa, próxima dos 140 milímetros. Mediante a análise das condições de vento, observa-se um predomínio de ventos do quadrante leste antes e depois do evento, com uma virada de direção, para o sudoeste, apenas um dia antes do ocorrido. Com a chegada da frente fria, ainda em relação aos ventos,

há um aumento de sua velocidade, de 8,8 km/h no dia 12/02/2018, para 13,3km/h no dia seguinte (13/02/2018).

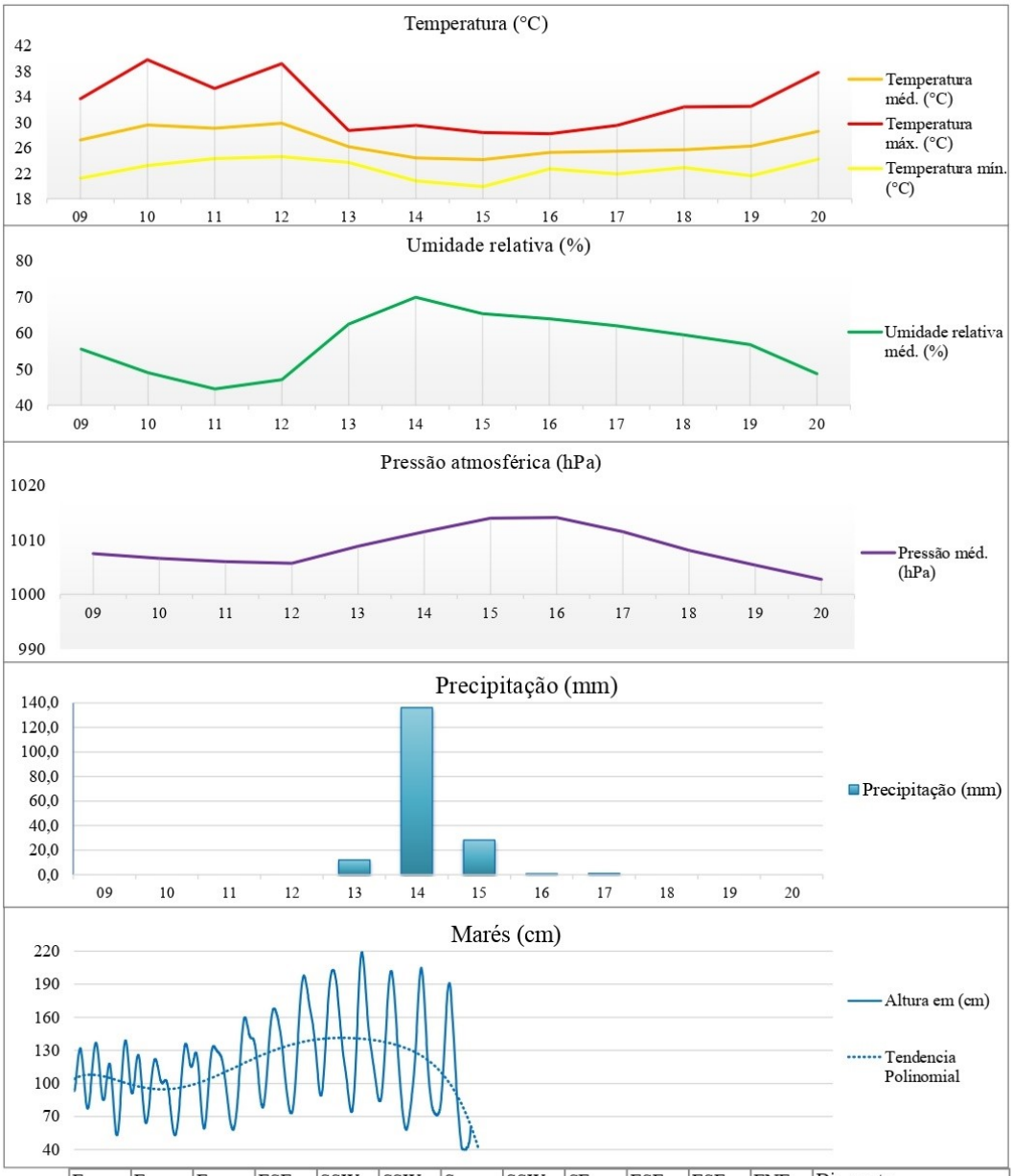
No que tange aos dados diários de marés, nota-se a ocorrência de uma maré de sizígia até o dia 12/02/2018, cujos valores de preamar não atingem os 160 cm de altura, contudo, entre os dias 13 e 15/02/2018, houve uma atuação da maré meteorológica, com os valores maregráficos atingindo 220 cm de altura, 60 cm a cima do previsto pelo serviço Maregráficos da Marinha do Brasil. Cabe salientar que às 23:55 horas do dia 14/02/2018 a estação maregráficas do Terminal da Ternium saiu de operação e o motivo não foi associado ao episódio, segundo a Marinha do Brasil.

Dias antes da chegada da frente fria há um aumento continuo da temperatura até o dia 12/02/2018, demonstrando a configuração de um aquecimento pré-frontal sobre área. Já no dia 13/02/2010 fica evidente a chegada da frente fria com a diminuição das temperaturas em até 10ºC, conforme a Figura 2.

Na análise rítmica horária (Figura 3), é notória a mesma relação de oposição entre temperatura, umidade relativa e pressão até às 23:00 horas do dia 14/02/2018, pois a temperatura sofre uma queda de 9ºC, enquanto a umidade se eleva de 67,25% para 98,75%; já a pressão passa por uma alteração modesta. Após a meia noite, este dualismo entre a temperatura e a pressão não se faz tão evidente, uma vez que ambas passam por uma elevação de seus valores em decorrência da alteração da direção do vento, o qual antes da meia noite provinha predominantemente do quadrante sul, e posteriormente, passou a predominância de norte, por consequência, essa quinada na direção do vento desorganizou o sistema, movimentando as nuvens para outras bacias hidrográficas próximas.

Algo que chama atenção na análise rítmica da Figura 3 é o fato de a temperatura mínima do período ter ocorrido à meia noite, isto se deve, provavelmente, a ocorrência de um efeito tampão provocado pela fixação do ar frio em superfície, muito comumente associado à ocorrência de *downbursts* (Solari, 2020). Porém, com as diferentes configurações de escoamento discutidas anteriormente, o ar frio é dissipado e a superfície retoma sua condição de aquecimento pela entrada de ventos quentes de norte, área onde a frente fria ainda não estava atuando.

**Figura 2** - Análise Rítmica diária entre os dias 9 e 20/02/2018.

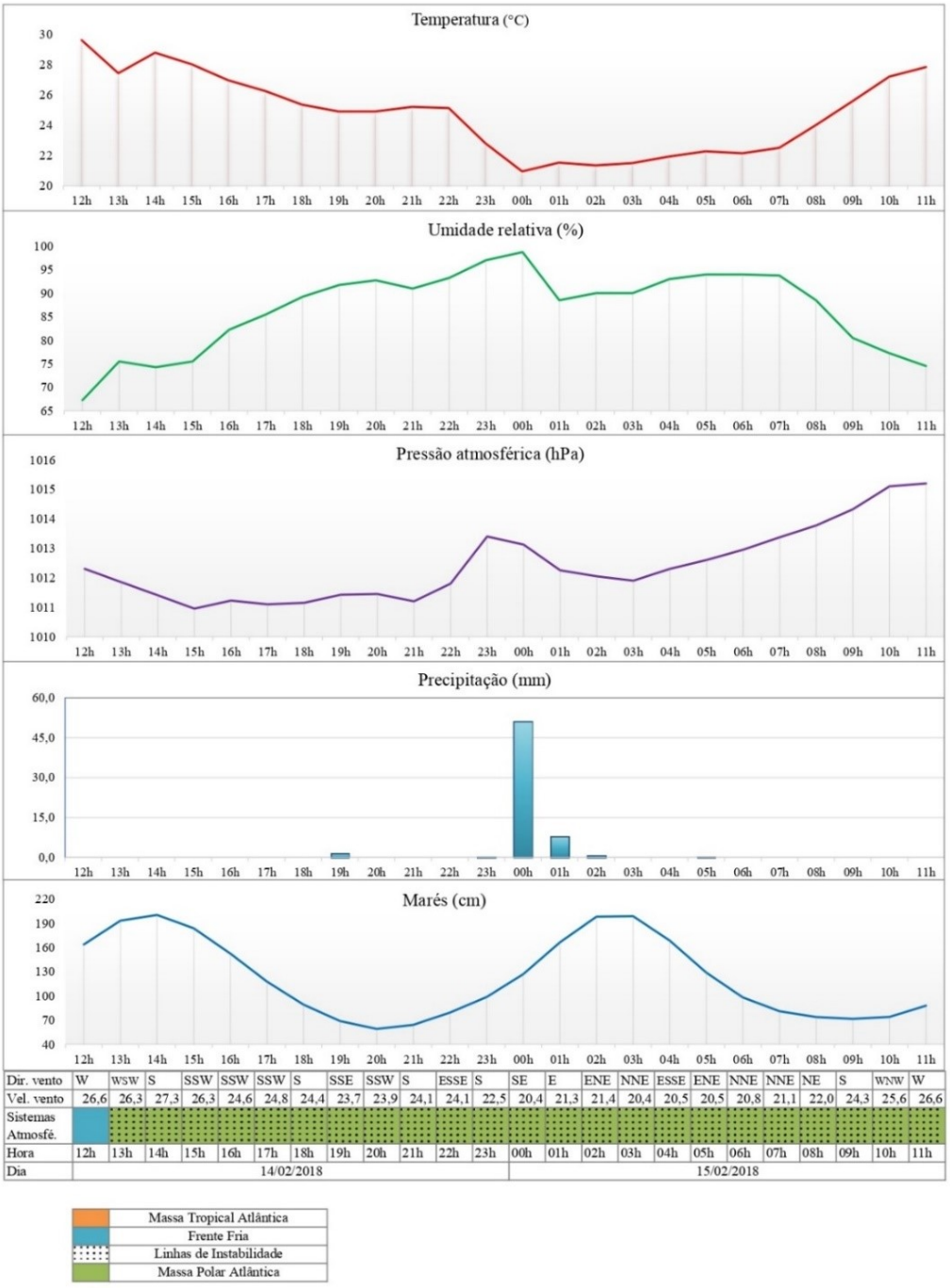



| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E | E | E | ESE | SSW | SSW | S | SSW | SE | ESE | ESE | ENE | Dir. vento |
| 8,1 | 7,4 | 8,0 | 8,8 | 13,3 | 13,4 | 9,4 | 6,7 | 6,6 | 5,6 | 6,1 | 7,1 | Vel. Vento km/h |
| | | | | | | | | | | | | Sistemas Atmosféricos |
| **09** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | Dias |

| |
|---|
| Massa Tropical Atlântica |
| Frente Fria |
| Linhas de Instabilidade |
| Massa Polar Atlântica |

**Fonte:** Autores (2021).

**Figura 3** - Análise Rítmica horária entre ás 12h do dia 14 até ás 11h do dia 15/02/2018.




| Dir. vento | W | WSW | S | SSW | SSW | SSW | S | SSE | SSW | S | ESSE | S | SE | E | ENE | NNE | ESSE | ENE | NNE | NNE | NE | S | WNW | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vel. vento | 26,6 | 26,3 | 27,3 | 26,3 | 24,6 | 24,8 | 24,4 | 23,7 | 23,9 | 24,1 | 24,1 | 22,5 | 20,4 | 21,3 | 21,4 | 20,4 | 20,5 | 20,5 | 20,8 | 21,1 | 22,0 | 24,3 | 25,6 | 26,6 |
| Sistemas Atmosfé. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hora | 12h | 13h | 14h | 15h | 16h | 17h | 18h | 19h | 20h | 21h | 22h | 23h | 00h | 01h | 02h | 03h | 04h | 05h | 06h | 07h | 08h | 09h | 10h | 11h |
| Dia | 14/02/2018 | | | | | | | | | | | | 15/02/2018 | | | | | | | | | | | |

**Fonte:** Autores (2021).

No que concerne à precipitação, assim como se verificou na análise diária, é possível confirmar sua concentração horária, em que, segundo os registros do Sistema AlertaRio 51 milímetros de chuva foram precipitados ente 23:00h e 00:00h do dia 14/02/2018. Nos demais horários a precipitação não se fez expressiva. Como consequência deste volume precipitado, uma grande área do sub-bairro do Magarça ficou submerso, conforme mostra a Figura 4. É

importante notar nas imagens 4c, 4d e 4e os impactos causados pelo vento, arrancando grandes árvores a partir das raízes e de forma não retorcida, outra característica associada aos impactos dos *downbursts,* conforme Solari (2020).

**Figura 4** – (a) Rio Piraquê-Cabuçu e Sub-bairro do Magarça totalmente inundado. (b) Cobertura de casa de eventos desaba durante a apresentação na Barra da Tijuca. (c) Queda de árvore na Av. Maracanã, (d) Árvore cai sobre taxi na Lapa e (e) Queda de árvore na Ilha do Governador.




**Fonte:** G1 (2018) e Light (2018).

Pela configuração topográfica natural do baixo curso da bacia do rio Piraquê-Cabuçu ser marcada por terras pouco elevadas, optou-se pela inserção dos valores de marés na técnica proposta por Monteiro e através da análise da mesma é evidente que a maré alta mais próxima do evento teve seu ápice entre 02:00h e 03:00h, na madrugada do dia 14/02/2018, o que, coincide com o tempo de escoamento superficial da precipitação recebida até as áreas do baixo curso, provavelmente potencializando as consequências da inundação.

Em relação à velocidade do vento, se verificou, no período observado, uma pequena alteração, pois de 12:00h até às 00:00h do dia 14/02/2018 os valores oscilavam em cerca de 4km/h, com valor mínimo de 22,5km/h; após o evento de precipitação a velocidade do vento diminuiu, não alcançando os 22km/h.

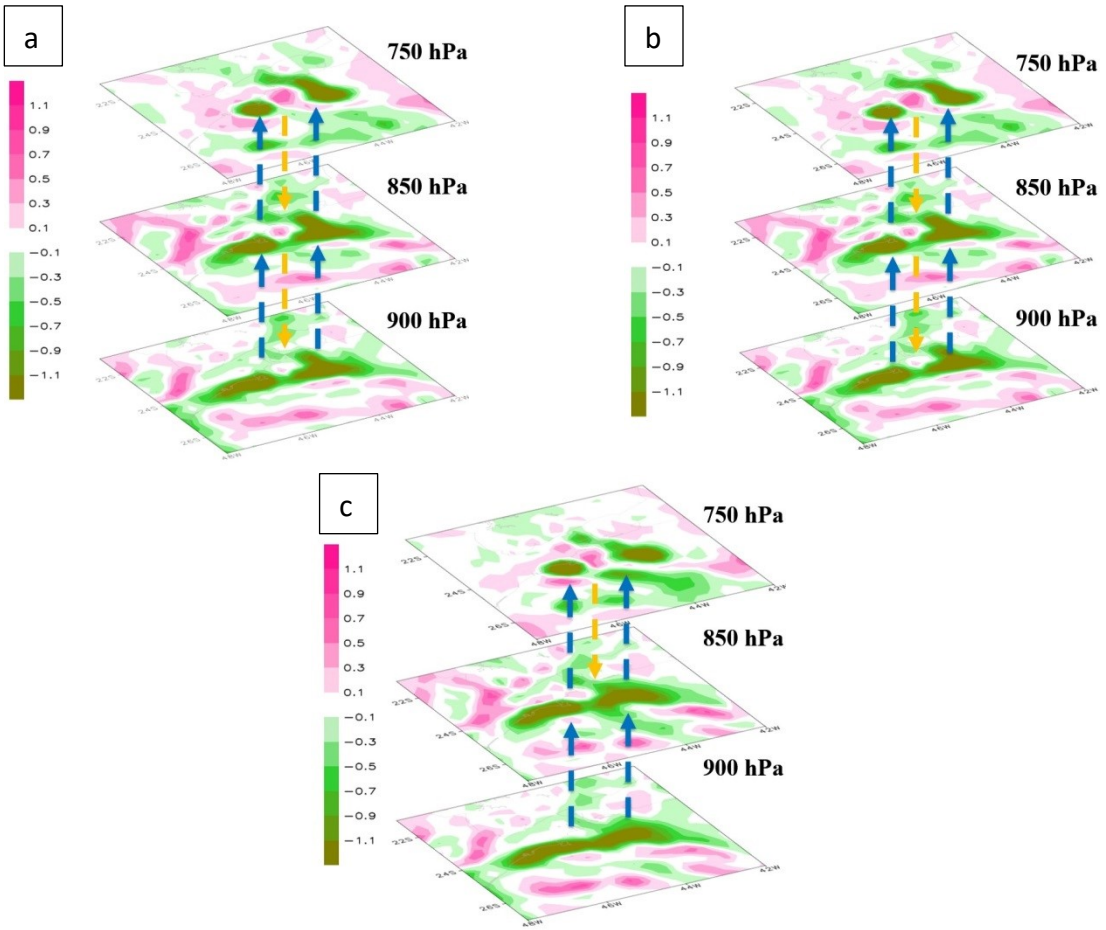
Visando observar fenômenos que possuem grande variação espaço-temporal, como ciclones, sistemas frontais e deslocamento de massas de ar, procedeu-se com a análise da carta sinótica do dia 14/02/2018, elaborada com a condição atmosférica de 12:00h zulu (09:00 no horário local), a presença de uma frente fria no Atlântico Sul, a qual se estendia de uma área de baixa pressão, em aproximadamente 45ºS/15ºW, até um cavado localizado 15º a norte, próximo ao litoral do Sudeste. No final desse cavado havia uma área de baixa pressão, na casa dos 1014 hPa. Como característica básica, um centro de baixa pressão cria um movimento de ar convergente para o seu centro, fazendo com que haja concentração de umidade e de calor, facilitando a formação e o crescimento das nuvens.

Os ventos recebidos por esta área sob intempérie provinham do sistema frontal, do anticiclone migratório pós-frontal, localizado ao sul da frente fria e da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), situada em 32ºS/10ºW. Dessa forma, o escoamento atmosférico atuou de modo a convergir a umidade das águas quentes do Oceano Atlântico e da Baia de Sepetiba e as temperaturas relativamente mais baixas, da atuação da frente fria. Esta condição de contorno, formado com umidade e ventos frios, é uma das condições ideais para a condensação do vapor d'água em suspensão e, consequentemente a formação de precipitação.

Para ilustrar os processos de ascendência e descendência do ar, descritos anteriormente, e fundamentais para a compreensão das condições de formação do evento, dados de velocidade vertical do ERA5 para: 1 horas antes do evento, na hora do evento e 1 horas depois do evento, em três níveis verticais (750hPa, 850 hPa e 900 hPa), foram plotados

na Figura 5.

**Figura 5** – (a) Vorticidade vertical para dia 14/02/2018 às 23:00h (b) Vorticidade vertical para dia 15/02/2018 às 00:00h e (c) Vorticidade vertical para dia 15/02/2018 às 01:00h

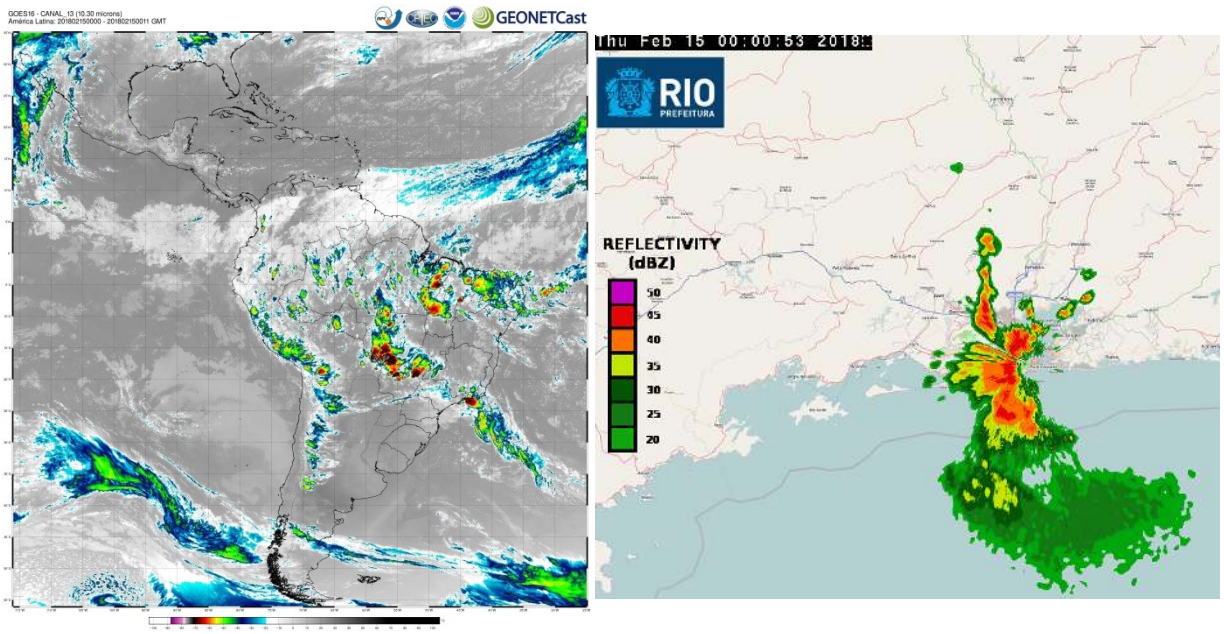



**Fonte:** ERA-5 – organizado pelos autores.

Como a velocidade vertical é um dado útil para entender a dinâmica de movimentos ascendente/ascensão (valores negativos) e descendente/subsidência (valores positivos) do ar. A partir da Figura 5 fica evidente o desenvolvimento de um padrão atmosférico com duas células de ascendência da umidade e momento, fundamentais para a conformação de nuvens Cumulonimbus (Figura 6) e, entre eles, uma célula de subsidência do ar. As condições atmosféricas supracitadas em associação com a topografia acentuada do município do Rio de Janeiro garantem a instabilidade estática necessária para a conformação de *downbursts* (Mason; Wood; Fletcher, 2010; Burlando et al., 2017), provavelmente o evento deflagrador

dos impactos ocorridos no Rio de Janeiro.

**Figura 6** – (a) Imagem do canal 13 do satélite GPES 16 para 00:00h do dia 15/02/2018 e (b) - Imagem do radar Sumaré para 00:53h do dia 15/02/2018




**Fonte:** INPE e Prefeitura do Município do Rio de Janeiro.

Na Figura 6a, a imagem GOES 16 evidencia no litoral do Sudeste brasileiro, a formação de nuvens com maior potencial para a formação de tempestade. Nestas imagens, quanto mais próximo da coloração preta maior será o desenvolvimento vertical nas nuvens. Já na imagem de radar às 00h53min do dia 15/02/2018 (Figura 6b) a refletividade se aproxima do valor de 50 dBZ, ou seja, denotando que a nuvem possuía um elevado retorno de refletividade pela alta concentração de gotículas de chuva em suspensão, possibilitando inferir que a mesma se apresentava com um acentuado desenvolvimento vertical. A partir de ambos os dados é muito provável a presença de nuvens Cumulonimbus durante o evento em análise.

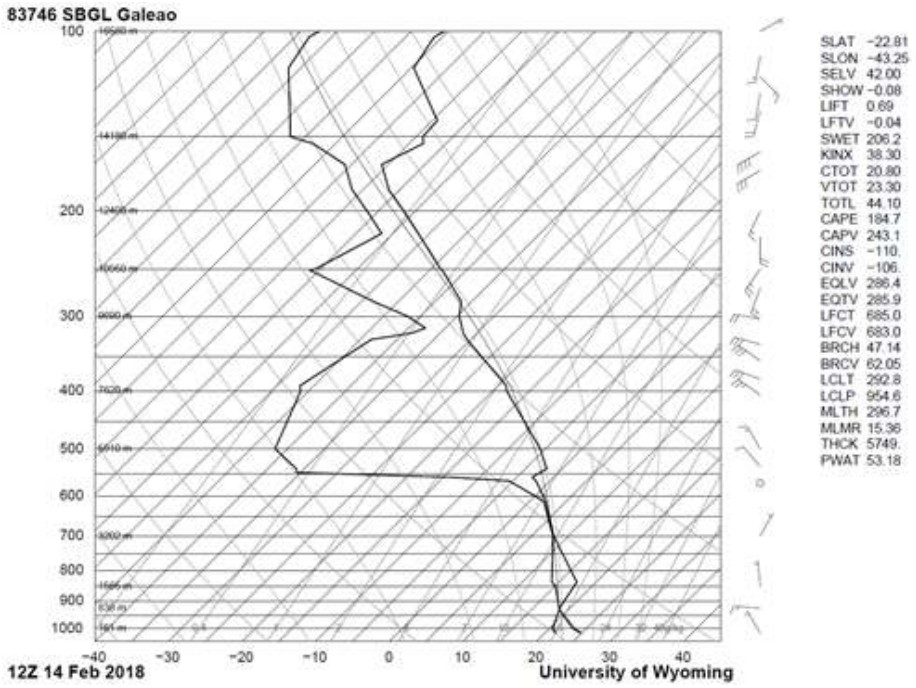
## 3.2. Análise da instabilidade atmosférica

Um diagrama termodinâmico é um perfil vertical da atmosfera com informações sobre suas características, segundo Ramos e Silveira (2010), sendo utilizado para ilustrar os processos atmosféricos com base em dados coletados por radiossondas. Tais sondagens fornecem dados relevantes como os níveis de saturação, direção e velocidade do vento,

ocorrência de gelo, altura da tropopausa, estrutura das massas de ar e da estabilidade atmosférica. O diagrama de Skew-T Log P é assim denominado por conter as isóbaras no eixo vertical em escala logarítmica e no eixo horizontal inclinado (skew) as isotermas.

Através da análise do diagrama coletado no Aeroporto Internacional do Galeão, cerca de 40 km a noroeste da bacia estudada, na Ilha do Governador (RJ), durante às 09:00h do dia 14/02/2018 (Figura 7), se constatou a ocorrência de uma inversão térmica em níveis inferiores a 900 hPa. Trata-se de uma provável inversão térmica frontal, confirmada pela condição sinótica apresentada na Carta Sinótica do dia 15/02/2018, onde uma parcela de ar frio oriundo do mar encontra uma barreira orográfica, os Maciços do Mendanha e da Pedra Branca, bem como a Serra dos Órgãos, deixando a camada superficial relativamente fria presa no fundo do vale, enquanto a camada superior se aquece por subsidência, comprovado pelos indicativos de vento presentes na lateral.

**Figura 7** - Diagrama de Skew-T Log P coletado no Galeão para 09:00h (12Z) do dia 14/02/2018.




**Fonte:** University of Wyoming (2019).

Através da associação entre a linha de temperatura e a linha do ponto de orvalho, é possível ter uma noção sobre as nuvens que estavam presentes no sistema, onde as linhas se

encontram, até 600 hPa, é plausível a ocorrência de nuvens do tipo Cumulus, já nos altos níveis, onde os valores de pressão alcançam 300 e 200 hPa, pode ter ocorrido Cirrus, indicando a movimentação do ar provocado pela chegada da frente fria.

Esta condição de inversão fixa uma camada de ar seco e frio em 900 hPa, sobreposta a uma parcela de ar úmido e quente, a qual se propaga até 600 hPa, inibindo a circulação de ar por subsidência, também evidenciado pelos dados de ventos, pois o ar frio, mais denso, impede a subida do ar quente, menos denso. Em superfície, o ar é elevado pela topografia e pelo sistema frontal, além de sua própria densidade. Este ar quente ascendente promove o transporte de umidade que, ao alcançar a linha de menor temperatura no topo da camada de inversão térmica, atinge o ponto de orvalho, saturando e intensificando as correntes descendentes, gerando rajadas superficiais, reforçando as características da ocorrência de um *downburst* (Fujita, 1985; Solari, 2020).

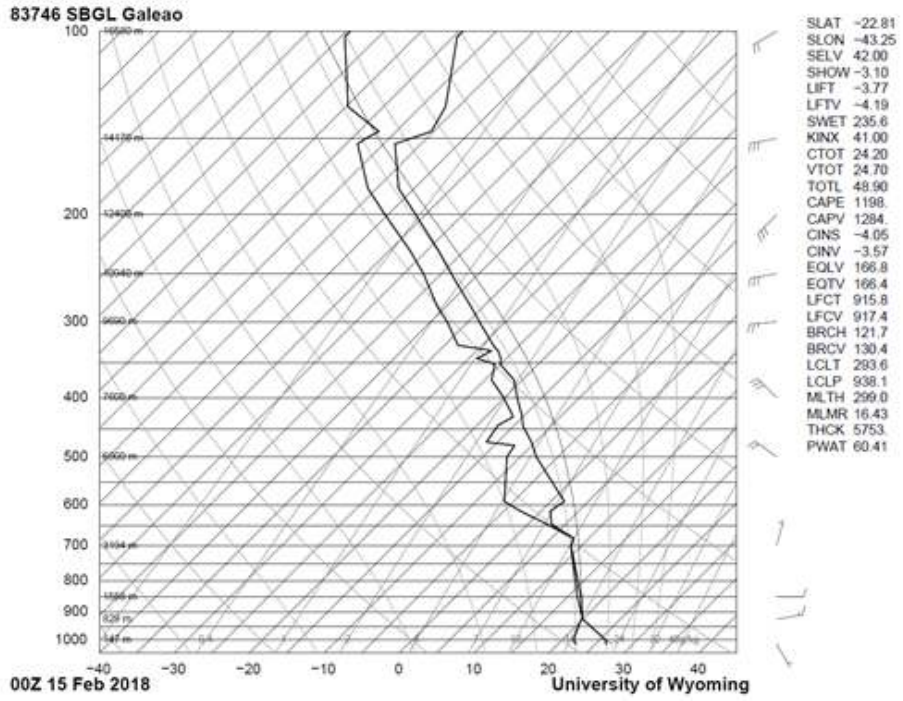
Em relação ao diagrama coletado às 21:00h do dia 14/02/2019 (Figura 8) fica confirmada a formação de uma nuvem do tipo Cumulonimbus, sua base está a menos de 829 m de elevação e seu topo a mais de 14 km de altitude, onde ela encontra a tropopausa e condições não propícias para a condensação do ar. No diagrama de 09:00h do dia 14/02/2018 (Figura 7) há predomínio de movimentos ascendentes de vento entre 950 hPa e 600 hPa, enquanto no diagrama de 21:00h do dia 14/02/2018 (Figura 8), há um fluxo descendente de ar, inferior a 950 hPa, demostrando os movimentos do vento descritos por Fujita (1985).

Segundo Cardoso (2007), as sondagens atmosféricas também servem para a obtenção de medidas quantitativas das características da atmosfera, como os índices de instabilidade, atuando como um "bom indicativo para a ocorrência de tempo significativo em um determinado local". Dessa forma, visando investigar a instabilidade ou estabilidade atmosférica com base no diagrama de Skew-T Log P, alguns índices foram selecionados para o presente estudo.

O Índice de Showalter é confeccionado pela subtração entre a temperatura do ambiente em 500 hPa e a temperatura que uma dada parcela de ar teria caso fosse elevada, por uma adiabática seca, do nível de 850 hPa até o nível de condensação por levantamento, e, posteriormente rebaixada até 500 hPa, trazendo como resposta a presença de tempestades estáveis até de tornados instáveis. No primeiro diagrama (Figura 7), os valores de Showalter são de -0,08, caracterizando-se como um tempo chuvoso com boas chances de trovoadas,

porém, na radiossonda posterior, este valor atinge -3,10, indicando a atuação de tempestades severas, como verificado.

**Figura 8** - Diagrama de Skew-T Log P coletado no Galeão para 21:00h do dia 14/02/2018 (00Z de 15/02/2018).




**Fonte:** University of Wyoming (2019).

O segundo índice empregado é Total Totals (ITT), elaborado por Miller (1972), que consiste na combinação de três informações: a taxa de lapso de níveis médios, a umidade do ambiente em 850 hPa e a temperatura ambiente em 500 hPa, indicando situações favoráveis à ocorrência de tempestades. Na sondagem vertical do dia 15/02/2018 o valor de ITT é de 48,90, caracterizando a presença de tempestades esparsas e severas.

Por fim, o último parâmetro selecionado foi o Índice CAPE que segundo Loureiro (2005), quanto maior for a diferença entre a taxa de variação vertical de temperatura do ambiente e da parcela maior será o índice CAPE, o que implica em um movimento de ascensão da parcela devido à sua flutuabilidade. O valor identificado no primeiro diagrama de Skew-T Log P às 09:00h (Figura 7) é de 184,7, caracterizando-se como uma condição de tempo pouco instável, porém, no diagrama das 21:00h (Figura 8), esse valor se eleva até ultrapassar a casa dos 1000 J/kg, indicando um tempo moderadamente instável, sinalizando para a ocorrência

de instabilidade atmosférica, revelando o papel dos processos convectivos.

Essa amalgama de elementos, quando analisados em conjunto com a evolução rítmica da atmosfera permitem o fortalecimento da hipótese da ocorrência de um *downburst* que, segundo Fujita (1985) e Burlando et al. (2017), ocorrem quando uma parcela de ar seco e frio ascende para altos níveis dentro de nuvens de profundo desenvolvimento vertical, como as Cumulonimbus. Nesse contexto, ocorre um processo denominado resfriamento evaporativo, que, por sua vez, origina massas de ar densas e frias, no interior da nuvem. Essa parcela de ar mantém sua sustentação pelas correntes convectivas, até que, ao entrar em contato com o topo da nuvem, as forças descendentes são superadas pelas forças ascendentes, retirando a sustentação da parcela da nuvem, levando-a a descender retilineamente em direção a superfície (Figura 8).

**Figura 8** - Representação gráfica do desenvolvimento de um *downburst*.



**Fonte:** Caracena et al., 1987 (adaptado).

*O downburst* é um fenômeno semelhante a uma explosão de precipitação que ao entrar em contato com o solo, os ventos espalham-se em movimentos horizontais de forma anelar. Por fim, ela atua como um efeito tampão, pois o ar frio descendente impede que o ar quente chegue à superfície.

Segundo Marone e Camargo (1994) uma elevação atípica no nível do mar, acima do previsto para a preamar, conforme o indicado para o dia 14/02/2018, 60 cm acima do previsto, pode ser ocasionado pela atração gravitacional exercida por tempestades atmosféricas sobre grandes corpos hídricos.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo desse artigo, os dados analisados indicam que o episódio de inundação ocorrido entre 14 e 15 de fevereiro de 2018 provavelmente foram deflagrados por um evento de *donwburst*, caracterizado por um movimento descendente acelerado de ar úmido em direção ao solo, instigado por elevados índices de instabilidade atmosférica, espalhando-se em direção à superfície como uma explosão de vento e chuva, o qual, acrescido à maré meteorológica, levou inúmeros transtornos à população da área de estudo.

O episódio foi acarretado pela associação de uma série de condicionantes: de um lado o uso urbano em uma área de intensa conversão e impermeabilização da cobertura da terra, intensificado pelas condições geomorfológicas de baixa topografia nas margens de um rio retilinizado; por outro lado, o evento pluviométrico intenso de 51 mm em 1 hora elevou rapidamente a vazão dos rios, potencializando a saturação dos leitos fluviais levando a inundação das planícies. Por fim, a dinâmica de marés, com a atuação da maré meteorológica, a qual se elevou horas antes do episódio, alterando o nível do lençol freático; Ademais, não há que se desconsiderar a ineficiência do serviço público municipal pós-carnaval, uma vez que todo o lixo gerado pelos foliões só foi retirado na quinta feira, impossibilitando que o total precipitado fosse escoado da maneira adequada, levando ao entupimento dos bueiros pelo lixo.

Finalmente, há que se reforçar a importância da análise episódica e rítmica para compreensão dos padrões associados a eventos atmosféricos extremos e intensos, já que estes se manifestam em escalas diárias e horárias. Com isso, a análise rítmica proposta por Monteiro (1971) ainda reveste-se de atualidade e como importante estratégia metodológica para a análise de eventos extremos, permitindo a reconstituição do ritmo atmosférico que conforma tais eventos e a identificação da sua gênese, peremptório para a melhoria da previsão e modelagem destes. Por fim, é urgente ao Geógrafo ampliar o escopo de dados utilizados na análise rítmica, tais como imagens de satélite, radar e radiossondagem, oferecendo dados mais precisos sobre as condições atmosféricas, permitindo um refinamento da técnica não apenas para níveis regionais, mas também locais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao AlertaRio por disponibilizar os dados meteorológicos das estações utilizadas. A Marinha do Brasil, pela carta sinótica, os dados maregráficos da estação Terminal da Ternium e outras informações sobre a atual condição da estação.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Mauricio de Almeida. **A cidade, a montanha e a floresta**. In: (Org.). Natureza e sociedade no Rio de Janeiro. Editora: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro Ano: 1992. p. 54-103.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. **Obras e gestão de portos e costas**: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. [S.l: s.n.], 2009.

AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Tradução Maria Juraci Zani dos Santos. São Paulo: Ed DIFEL. 1986.

BORSATO, Victor da Assunção; SOUZA FILHO, Edvard Elias de. **O ritmo climático e episódios pluviométricos no ano de 1980**. Londrina: [s. n.], 2008.

BRANDÃO, Ana Maria de Paiva Macedo. As chuvas e a ação humana: uma infeliz coincidência. In: ROSA, L. P. & LACERDA, W. A. **Tormentas Cariocas**. Seminário prevenção e controle dos efeitos dos Temporais no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1997.

BURLANDO, Massimiliano; ROMANIĆ, Djordje; SOLARI, Giovanni; HANGAN, Horia; ZHANG, Shi. (2017). Field Data Analysis and Weather Scenario of a Downburst Event in Livorno, Italy, on 1 October 2012, Monthly Weather Review, 145(9), 2017: 3507-3527. DOI: 10.1175/MWR-D-17-0018.1.

CARDOSO, Nélia. Relações entre Índices de Instabilidade e as chuvas ocorridas em Porto Alegre, RS, de 1990 a 2005. 2007. 94 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

FAZENDA, José Vieira. **Antiqualhas e Memórias do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro. Vol. 143 Tomo 89. 1921.

FEDOROVA, Natalia; SILVA, Bruce Francisco Pontes da; LEVIT, Vladimir. Análise e Previsão Prática das Nuvens Pelo Diagrama Termodinâmico SKEW-T/LOG-P. 2017, 227p. ISBN: 978-85-923360-1-1. FUJITA, Tetsuya Theodore. **The downburst, microburst, and macroburst**. [Chicago]: SMRP Res. Paper No. 210, Univ. of Chicago, 1985.

GONÇALVES, Neyde Maria Santos. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador**. p.69-92. In: MONTEIRO, C. A F.; MENDONÇA, F. (Orgs). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 1992.

LOUREIRO, Renata Silva de. **Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará**. Pelotas: Dissertação (Mestrado – Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas. 2005.

MARONE, Eduardo; CAMARGO, Ricardo de. **Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná**: o evento de 18 de Agosto de 1993, Nerítica, Cuririba, v.8(1-2), Editora da UFPR, p.73-85, 1994.

MASON, Matthew Stephen; WOOD, Graeme; FLETCHER, David Frederick. Numerical investigation of the influence of topography on simulated downburst wind fields. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,98 (1), 2010: 21-33. DOI: 10.1016/j.jweia.2009.08.011.

MILLER, Robert C. **Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central**. Tech. Report 200(R), Headquarters, Air Weather Service, Scott Air Force Base, IL 62225. 1972.

MONTEIRO, Carlos Augusto. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MONTEIRO, Carlos Augusto. **Análise rítmica em climatologia**. São Paulo: USP/Igeog, 1971.

QUINN, Niall; ATKINSON, Peter; WELLS, Neil. Modelling of tide and surge elevations in the Solent and surrounding waters: The importance of tidesurge interactions. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 112, p. 162–172, 2012.

RAMOS, Diogo Nunes da Silva; SILVEIRA, Márcio Henrique dos Santos. **Diagrama termodinâmico Skew T - Log P**: Usos e Aplicações. 2010.

ROSA, Luiz Pinguelli e LACERDA, Willy Alvarenga. (Eds.). **Tormentas cariocas** - Seminário Prevenção e Controle dos Efeitos dos Temporais no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 1997.

SOLARI, Giovanni. Thunderstorm Downbursts and Wind Loading of Structures: Progress and Prospect. Front. Built Environ. 6 (63), 2020. DOI 10.3389/fbuil.2020.00063.