

GÊNESE CONVECTIVA E NÃO CONVECTIVA EM RAJADAS MÁXIMAS DE VENTO ASSOCIADAS À CICLOGÊNESE EXPLOSIVA NA REGIÃO SUL DO BRASIL: O EPISÓDIO DE JUNHO/JULHO DE 2020

Andrey Luis Binda¹ 

Destaques:

- As rajadas máximas absolutas durante o evento meteorológico extremo apresentaram gêneses distintas.
- Dois grupos com gênese, variação temporal e espacial foram propostos.
- Aspectos de mesoescala como a ocorrência de piscina fria e mesoalta foram observados.
- Os setores do ciclone extratropical respondem pelas gêneses distintas dos dois grupos.
- Considera-se adequado o uso do termo meteorológico *derecho* para um dos grupos.

Resumo: No dia 30 de junho e 1 de julho de 2020 a região sul do Brasil foi palco de uma ciclogênese explosiva que impactou diretamente a sociedade, causando danos materiais, econômicos e sociais e fatalidades humanas. No presente trabalho, tem-se como objetivo caracterizar a gênese das rajadas máximas absolutas (≥ 20 m/s) ocorridas durante aquele evento meteorológico extremo. A partir disso, foi possível diferenciar dois principais grupos com rajadas distintas: um de origem convectiva e outro, não convectiva. Além da gênese distinta, a cobertura geográfica e o período no qual as rajadas máximas absolutas ocorreram em cada grupo, atestam que embora afetadas pelo ciclone extratropical, a posição relativa ao mesmo foi preponderante. Favorecido por um sistema frontal frio, uma linha de instabilidade foi a responsável pelas rajadas máximas absolutas pertencentes ao primeiro grupo, que dada às condições de ampla abrangência (da porção meridional do Paraná até o norte gaúcho), poderia ser tratado mediante o uso do termo meteorológico *derecho*. No segundo grupo, ou seja, das rajadas não convectivas, o intenso gradiente de pressão dado pelo aprofundamento do ciclone extratropical (explosivo) sobre o oceano, condicionou rajadas máximas absolutas na faixa costeira, sobretudo do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Frente fria; linha de instabilidade; piscina fria; mesoalta; *derecho*.

¹ Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS - Porto Alegre-RS. Atualmente é professor do magistério superior na área de Climatologia, Hidrologia e Meteorologia na Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS - Chapecó/SC, onde atua no curso de Geografia Licenciatura e no Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGEO. E-mail: abinda@uffs.edu.br.

CONVECTIVE AND NON-CONVECTIVE GENESIS IN MAXIMUM WIND GUSTS ASSOCIATED WITH EXPLOSIVE CYCLOGENESIS IN SOUTHERN BRAZIL: THE JUNE/JULY 2020 EPISODE

Abstract: On June 30 and July 1, 2020, the southern region of Brazil was the scene of an explosive cyclogenesis that directly impacted society, causing, material, economic and social damage and human fatalities. In the present work, the objective is to characterize the genesis of the absolute maximum gusts (≥ 20 m/s) that occurred during that extreme meteorological event. From this, it was possible to differentiate two main groups with distinct gusts: one of convective origin and the other, non-convective. In addition to the different genesis, the geographic coverage and the period in which the absolute maximum gusts occurred in each group, attest that although affected by the extratropical cyclone, the relative position to it was preponderant. A cold front system caused a squall line that was responsible for the absolute maximum gusts belonging to the first group, which, given the wide-ranging conditions (from the southern portion of the Paraná State to the north of the Rio Grande do Sul), could be treated by using the meteorological term *derecho*. In the second group, that is, non-convective gusts, the intense pressure gradient given by the deepening of the extratropical (explosive) cyclone over the ocean, conditioned absolute maximum gusts in the coastal strip, especially in Rio Grande do Sul State.

Keywords: cold front; squall line; cold pool; mesohigh; *derecho*.

GÉNESIS CONVECTIVA Y NO CONVECTIVA EN RÁFAGAS MÁXIMAS DE VIENTO ASOCIADAS A CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA EN EL SUR DE BRASIL: EL EPISODIO JUNIO/JULIO 2020

Resumen: El 30 de junio y el 1 de julio de 2020, la región sur de Brasil fue escenario de una ciclogénesis explosiva que impactó directamente en la sociedad, causando daños materiales, económicos, sociales y fatalidades humanas. En el presente trabajo, el objetivo es caracterizar la génesis de las ráfagas máximas absolutas (≥ 20 m/s) ocurridas durante dicho evento meteorológico extremo. A partir de esto, fue posible diferenciar dos grupos principales con distintas ráfagas: una de origen convectivo y otra no convectivo. Además de la distinta génesis, la cobertura geográfica y el período en que se presentaron las ráfagas máximas absolutas en cada grupo, atestiguan que aunque afectado por el ciclón extratropical, la posición relativa fue preponderante. Favorecida por un sistema de frente frío, una línea de turbonada fue responsable de las ráfagas máximas absolutas pertenecientes al primer grupo, que, dadas las condiciones de gran amplitud (desde la parte sur del estado de Paraná hasta el norte de Rio Grande do Sul), podría ser tratados con el uso del concepto meteorológico de *derecho*. En el segundo grupo, o sea, ráfagas no convectivas, el intenso gradiente de presión dado por la profundización del ciclón extratropical (explosivo) sobre el océano, condicionó ráfagas máximas absolutas en la franja costera, especialmente en el estado de Rio Grande do Sul.

Palabras clave: frente frío; línea de turbonada; embolsamientos fríos; mesoalta; Derecho.

INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil se encontra entre duas áreas passíveis de ciclogênese: uma sobre o Uruguai/costa do Rio Grande do Sul e outra na costa sul/sudeste brasileira (JANTSCH, 2019; REBOITA, 2008; REBOITA *et al.*, 2012). Por este motivo, os ciclones extratropicais são sistemas atmosféricos bastante frequentes, afetando e modulando as condições do tempo atmosférico, como o próprio clima na região sul (BITENCOURT; FUENTES; CARDOSO, 2013; REBOITA *et al.*, 2012). Por exemplo, as chuvas no Brasil meridional são derivadas, principalmente, da passagem de sistemas frontais frios (SARTORI, 2003) que representam um setor componente dos ciclones extratropicais. Inclusive, a nebulosidade característica de um ciclone extratropical em formato de uma vírgula invertida se deve ao ramo frio (FERREIRA, 2006; GAN; SELUCHI, 2009; REBOITA *et al.*, 2017).

Por se tratar de um sistema transiente, durante o deslocamento, tanto a depressão ciclônica, como seus sistemas frontais associados instabilizam a atmosfera e se repercutem no espaço geográfico. Podem desenvolver tempestades (vendavais), granizo e até tornados, afetando, frequentemente, as áreas continentais e costeiras da região sul – marés de tempestades (ressaca) –, principalmente quando estes sistemas deslocam-se sobre o oceano (FERREIRA, 2006; MARCELINO *et al.*, 2014; REBOITA *et al.*, 2012; REBOITA; MARRAFON, 2021). Mas nem todos os ciclones extratropicais são iguais. A intensidade de um ciclone extratropical depende da pressão atmosférica no centro depressionário, uma vez que esta influência decisivamente na vorticidade ciclônica – quanto menor a pressão, maior a vorticidade ciclônica (GAN; SELUCHI, 2009).

Aqui, se destacam aqueles sistemas que levam a nomenclatura de “ciclone explosivo” ou “ciclone bomba”, cujo elemento definidor é a queda da pressão atmosférica superior a 24 hPa em 24 horas (para latitudes de 60°), mas cujo valor exato depende da latitude do local. Essas condições ensejam o desenvolvimento convectivo de tempestades com chuvas intensas, relâmpagos e fortes rajadas de ventos (BITENCOURT; FUENTES; CARDOSO, 2013; GAN; SELUCHI, 2009; ROGERS; BOSART, 1986) e assim, elevam o risco à sociedade.

Dependendo da posição onde ocorre a ciclogênese e o aprofundamento barométrico, pode desencadear desastres naturais, sobretudo, quando há o desenvolvimento do sistema sobre o continente. Assim, os ciclones explosivos podem ser tratados como eventos meteorológicos extremos, por se tratar de “...grandes desvios de um estado climático moderado...” (MARENGO, 2009, p.6).

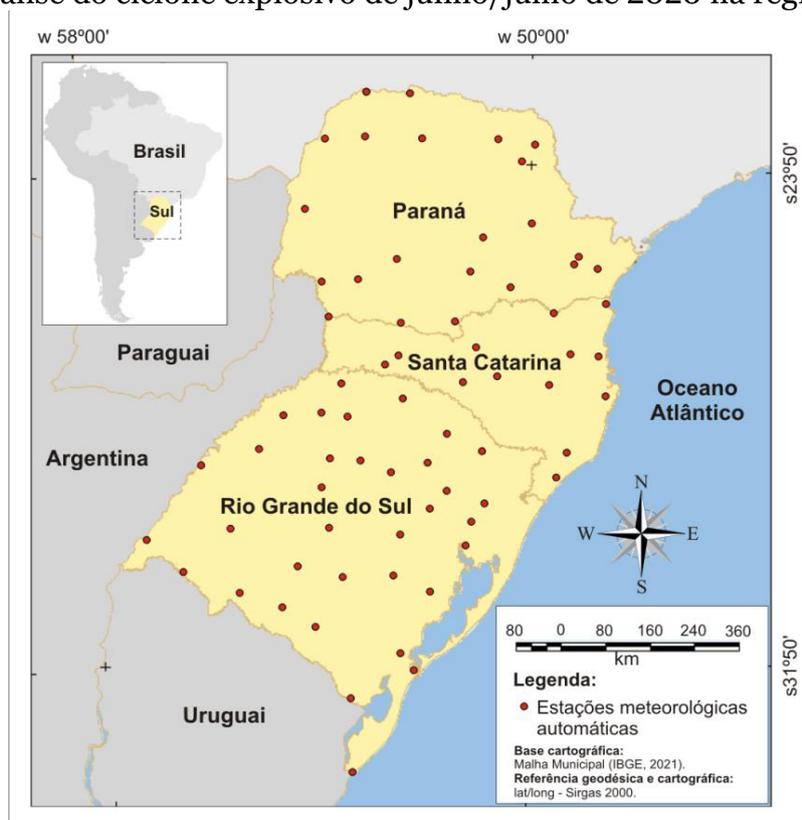
Ocorrem por ano, em média, um a dois episódios explosivos na costa leste sulamericana, o que é um número relativamente pequeno quando comparado ao total de ciclones não-explosivos. Tendem a apresentar maior frequência nos meses de inverno (junho-agosto), período do ano quando as ciclogêneses atingem seu ápice setentrional, aumentando as probabilidades de ocorrerem no continente sobre a região sul do Brasil. Como esses sistemas apresentam, assim como seus similares não-explosivos trajetória sudeste, quando iniciados no continente, logo adentram no oceano, mas nesse trajeto podem induzir condições de tempo severo com danos socioeconômicos relevantes (BITENCOURT; FUENTES; CARDOSO, 2013).

É dentro deste contexto que se insere a presente pesquisa cujo objetivo é abordar a gênese das rajadas máximas absolutas associadas ao ciclone explosivo ocorrido entre os dias 30 de junho e 1 de julho de 2020 na região sul do Brasil. Este episódio foi amplamente divulgado na mídia, sobretudo pela extensa área de abrangência. Caracterizado como um ciclone de intensidade forte por Faria e Reboita (2023), este evento meteorológico extremo foi reconhecido em nota técnica emitida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020) e listado nos casos significativos do mês de junho de 2020 pelo Centro de Precisão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2020). Os danos materiais, sociais e econômicos, bem como, as perdas humanas originadas por este evento o colocam como um dos maiores já registrados no estado de Santa Catarina (RODRIGUES, 2020) e reforçam a necessidade em estudar suas características das rajadas ocorridas, incluindo, ao final, o emprego de um termo meteorológico para sua descrição.

MATERIAIS E MÉTODO

Com a finalidade de se atingir o objetivo proposto, foram seguidos determinados passos que proporcionavam a própria construção da pesquisa. Nesse sentido, o primeiro passo executado foi a obtenção dos dados horários referentes às estações meteorológicas automáticas em operação e incluídas no âmbito da região sul do Brasil. Essa etapa foi conduzida mediante acesso ao Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde foram previamente selecionadas 93 estações meteorológicas automáticas. Uma análise preliminar foi realizada com a intenção de excluir àquelas sem informações ou com dados incompletos na cobertura temporal dos dois dias analisados (30 de junho e 1 de julho de 2020). Esse procedimento reduziu o número de estações meteorológicas automáticas para 70 (20 no Paraná, 14 em Santa Catarina e 36 no Rio Grande do Sul), cujo recobrimento espacial pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Distribuição das estações meteorológicas automáticas empregadas na análise do ciclone explosivo de junho/julho de 2020 na região sul.



Fonte: INMET (2020). Org.: Autor (2022).

Na sequência, foi verificado no período analisado a rajada máxima absoluta de vento para em cada uma das estações meteorológicas. Essa

informação foi essencial para a elaboração de uma série base para a pesquisa, utilizada para a elaboração de um mapa de interpolação dos dados que representasse as rajadas máximas absolutas associadas à ciclogênese explosiva. Empregou-se para tanto, o *software* SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - versão 5.4.3, desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), empregando-se o interpolador *Spline Mitasova*, selecionado após testes de rotina, por apresentar visualmente, os melhores resultados.

A partir da série base de rajadas máximas absolutas, empregou-se o limiar de ≥ 20 m/s para selecionar as localidades para um estudo detalhado das forçantes causadoras. É importante salientar que a escolha desse limiar é uma adaptação do que se encontra na literatura. Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b), por exemplo, utilizam as rajadas máximas ≥ 25 m/s, uma vez que este valor estaria associado com tempestades severas. Tavares (2009), por sua vez, atesta que ventos com intensidade superior a 75 km/h já apresentam potencial para causar danos, como a quebra de galhos de árvores, destelhamentos e avarias em estruturas prediais. Assim, por conversão, tal velocidade corresponderia a 20,8 m/s, valor correlato para a classe ventania forte na escala de Beaufort. Frente a isso, para fins de simplificação, adotou-se o valor previamente estabelecido como referência.

Com base nas localidades selecionadas por esse critério, aplicou-se o método proposto por Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b) para discriminar se aquelas rajadas máximas absolutas de vento foram produzidas por sistemas convectivos ou não convectivos. Este método considera o uso de dados oriundos de estações meteorológicas automáticas do INMET e consiste em elaborar e representar graficamente os dados meteorológicos considerando uma janela temporal de 21 horas (-10h e +10h), centrados no horário da rajada máxima absoluta (0h). Os dados de vento (rajada máxima horária, em m/s) e precipitação horária (em mm) são empregados no sentido de verificar se rajada máxima absoluta foi acompanhada de precipitação, um indicativo de sistemas convectivos.

Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b) também relatam a pertinência de se avaliar as anomalias de pressão atmosférica e de temperatura do ar na janela

temporal. Essas anomalias foram calculadas a partir dos desvios em relação ao valor correspondente à mediana da janela temporal, uma adaptação da proposta dos autores que empregaram a média. A opção por se trabalhar com a mediana se deve ao fato dessa medida de tendência central dividir a série de duas partes iguais (GERARDI; SILVA, 1981), evitando as distorções promovidas pela média. A interpretação gráfica das anomalias de pressão e temperatura favorecerem o reconhecimento de mesoaltas e piscinas frias (que serão detalhadas no próximo item), comumente associadas a sistemas convectivos. Por fim, os autores atestam, ainda, que intensas rajadas máximas com duração de três ou mais horas não são condizentes à sistemas convectivos.

Dados obtidos mediante consulta ao Sistema Informatizado de Defesa Civil do Paraná, ao relatório de eventos adversos da Defesa Civil do Rio Grande do Sul e ao decreto emitido pelo estado de Santa Catarina (Decreto estadual n.718, de 10 de julho de 2020) criaram a base para mapeamento dos municípios atingidos pelo evento no dia 30 de junho de 2020. A representação cartográfica foi desenvolvida no *software* SPRING (DPI/INPE) por meio da malha municipal² do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relativa aos três estados da região sul. O relatório de danos informados nos dias 30 de junho e 1 de julho de 2020 na categoria Tempestade local/Convectiva - Vendaval foi extraída do Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres (S2iD)³. Por fim, foram consultadas imagens do radar meteorológico⁴ "Morro da Igreja", localizado no município de Urubici/SC e administrado pela Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As rajadas máximas absolutas

A figura 2 apresenta o mapa com a espacialização das rajadas máximas absolutas registradas no período analisado (30 de junho e 01 de julho de 2020), em cada uma das 70 estações meteorológicas automáticas selecionadas para

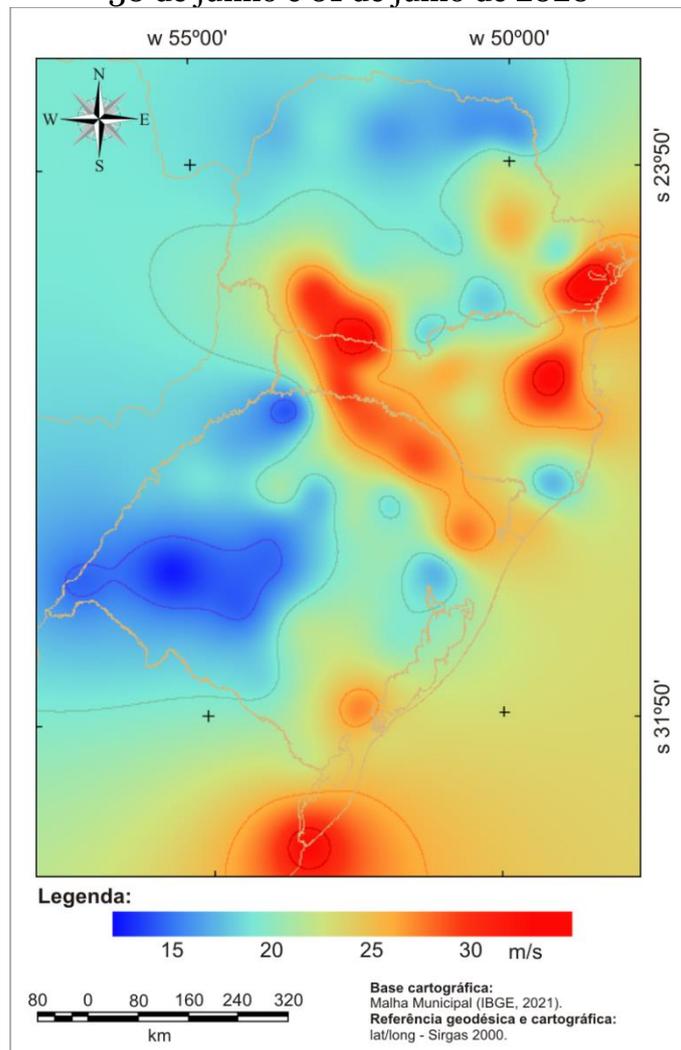
² Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 05 ago. 2022.

³ Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>. Acesso em 30 jun. 2022.

⁴ Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/> Acesso em 05 jul. 2022.

este estudo. É importante ressaltar que o mapa produzido é uma representação decorrente da interpolação de dados pontuais, contendo portanto, generalizações, sobretudo naquelas áreas sem registros obtidos por meio de estações meteorológicas. Outro aspecto relevante e que é necessário salientar, é que o valor registrado nas estações meteorológicas pode diferir de áreas próximas, as quais podem ter sido acometidas tanto com rajadas mais intensas, como também, por rajadas menos intensas.

Figura 2 - Rajadas máximas absolutas registradas na região sul entre nos dias 30 de junho e 01 de julho de 2020



Dados meteorológicos: INMET (2020). Org.: Autor (2022).

Feita essas ressalvas, nota-se a partir da observação da Figura 2, que as rajadas mais intensas (áreas em vermelho no mapa) ocorreram em porções distintas da região sul brasileira, com destaque para as seguintes três áreas:

- a) faixa que inclui o sudoeste do Paraná, o oeste catarinense e a porção norte do Rio Grande do Sul;
- b) área que vai do vale do Itajaí e litoral norte catarinense até o litoral do Paraná; e,
- c) sudeste e litoral sul-rio-grandense.

Em oposição, duas outras áreas bem definidas se destacam, áreas estas com rajadas bem menos intensas que as anteriores (áreas em azul no mapa). A primeira, recobre, grosseiramente, a metade oeste do estado do Rio Grande do Sul, enquanto a segunda, a porção norte do Paraná.

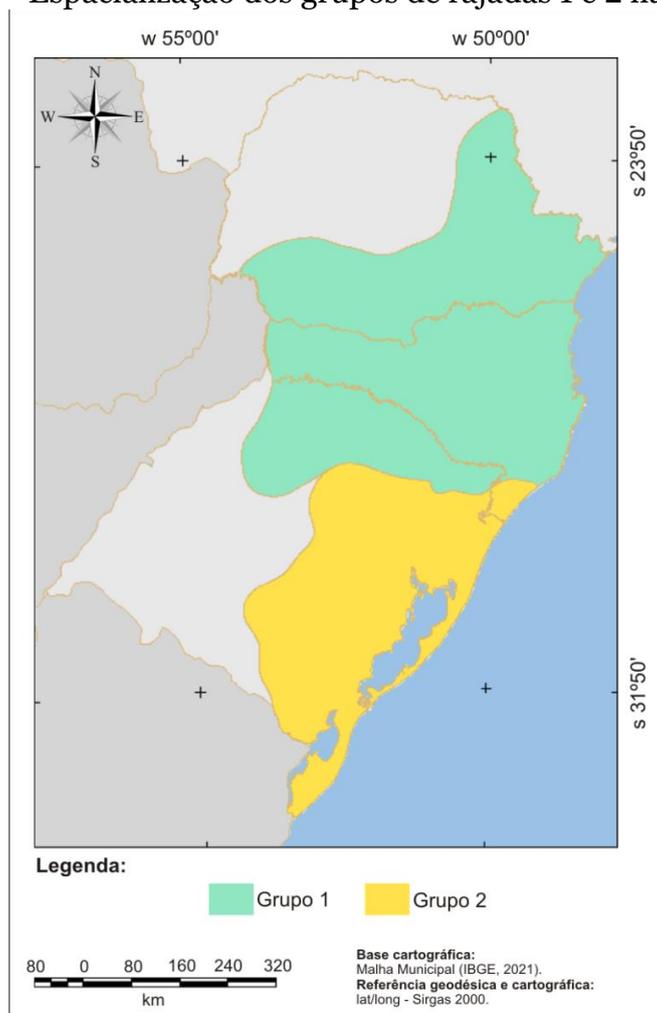
Das 70 estações meteorológicas automáticas, 36 delas superaram o referido de 20 m/s. A partir de agora, dar-se-á ênfase à estas localidades, iniciando pela descrição das classes de intensidade da rajada máxima absoluta registrada em cada uma das estações meteorológicas automáticas. Como já esperado, há uma redução no número de localidades com o aumento da intensidade: na classe entre 20 a 25 m/s estão 18 localidades, passando para 13 na classe entre 25 a 30 m/s, quatro na classe entre 30 a 35 m/s e somente uma acima de 35 m/s. Por estado, 16 localidades estão inseridas no Rio Grande do Sul, 13 localidades em Santa Catarina e 7 localidades no Paraná.

Embora possa parecer menos representativo, o estado do Paraná foi o único que apresentou localidades que se inserem nas quatro classes de intensidade de rajada máximas absolutas, sendo Morretes, no litoral, a localidade com o maior valor observado nesta pesquisa (35,2 m/s). Para dimensionar, a título de exemplo, Gonçalves e Guetter (2019) estudando o tempo de recorrência de rajadas para o intervalo de 50 anos obtiveram valores regionalizados (quartil 0,98) entre 21,4 a 44,8 m/s ($\bar{x} = 33,8$ m/s) para o estado como um todo, o que já aponta para a condição excepcional do evento aqui em pauta. Ainda, conforme a cartografia proposta pelos autores, nota-se que a rajada registrada em Morretes, supera e muito os valores regionalizados para o litoral paranaense, assim como em Clevelândia (33,4 m/s), no centro-sul do estado, na divisa com Santa Catarina, cujo valor pode representar um evento próximo daquele intervalo de recorrência.

Gênese convectiva e não convectiva das rajadas máximas absolutas

Passando o enfoque à análise das rajadas máximas absolutas e considerando as premissas apresentadas por Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b) foi possível, num primeiro momento, diferenciar por meio da análise gráfica, dois grupos (aqui chamados de Grupo 1 e Grupo 2) com padrões de anomalias de pressão e temperatura, assim como de rajadas e precipitação, distintos. Atenta-se que a espacialização das localidades classificadas dentro dos Grupos 1 e 2 permitiu constatar uma distribuição espacial marcante (Figura 3). O Grupo 1 agrupa localidades entre a porção sudoeste e nordeste do Paraná, incluindo o estado de Santa Catarina (exceto, litoral sul) e o noroeste/nordeste do Rio Grande do Sul. Por outro lado, as localidades categorizadas como Grupo 2, concentram-se na faixa leste do Rio Grande do Sul e o litoral sul catarinense.

Figura 3 - Espacialização dos grupos de rajadas 1 e 2 na região sul

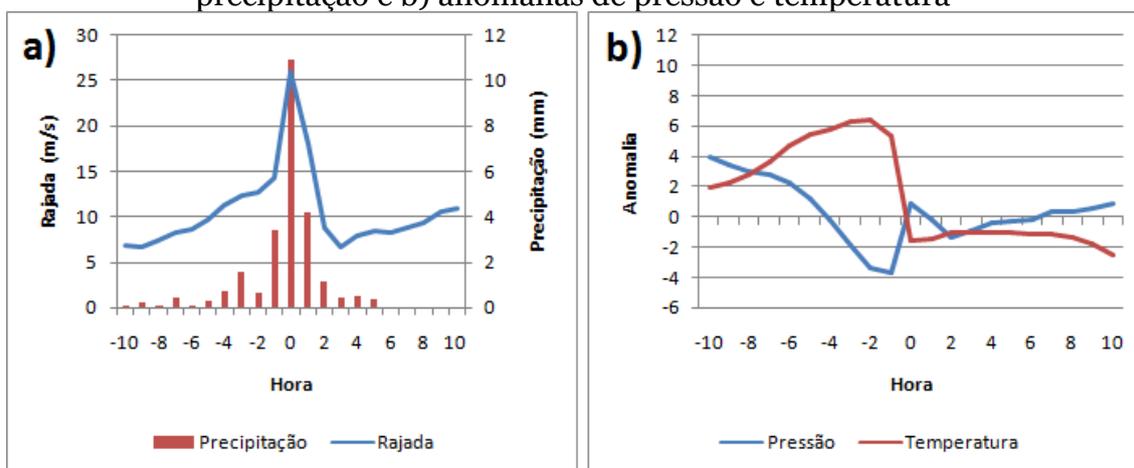


Fonte: Dados INMET (2020). Org.: Autor (2022).

Outro diferencial entre os grupos é o aspecto temporal no qual as rajadas máximas absolutas foram registradas. No Grupo 1, a rajada máxima absoluta em cada localidade ocorreu entre as 12 e 21 horas (local) do dia 30 de junho de 2020 e apresentaram um padrão sequencial, iniciando no oeste catarinense e sudoeste do Paraná e seguindo em direção leste-nordeste, cruzando nas horas seguintes os estados de Santa Catarina e Paraná, respectivamente. Acometeram ainda, a porção noroeste/nordeste do Rio Grande do Sul (Cruz Alta, Erechim, Lagoa Vermelha e Vacaria), seguindo a ordem de redação dos municípios citados. Em contrapartida, no Grupo 2 foram observadas a partir da meia noite do dia 01 de julho até as 8 horas da manhã daquele dia e não seguem padrão sequencial claro, demonstrando, possivelmente, a interação com os aspectos geográficos locais.

Passando para a análise das variáveis meteorológicas, evidencia-se que as rajadas máximas absolutas do Grupo 1 apresentam conformação condizente com os atributos apresentados por Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b), como definidores de rajadas oriundas de sistemas convectivos. Os gráficos gerados atestam a ocorrência precipitação concomitante com a rajada máxima absoluta, bem como, um padrão de inversão das anomalia de pressão e temperatura nas condições pré e pós-rajada. Para facilitar a compreensão dessas características, elaborou-se o estado médio dos atributos para o Grupo 1 (Figura 4).

Figura 4 - Série de dados médios referentes ao Grupo 1: a) rajada e precipitação e b) anomalias de pressão e temperatura



Fonte: Dados INMET (2020). Org.: autor (2022).

Nota-se que o pico de rajada máxima absoluta é acompanhado por um máximo de precipitação que, neste horário (0h - centro dos gráficos), marca as

mudanças nos padrões de anomalias de temperatura e pressão (Figura 4). Uma análise mais acurada desses dados, permite constatar a intensificação dos ventos pré-rajada máxima absoluta, possivelmente associado ao aumento das anomalias positivas de temperatura, mas sobretudo, pela redução das anomalias de pressão, que atingem seu mínimo (em valores negativos), na hora que antecede a rajada (-1h). Na hora exata da rajada máxima absoluta, há uma queda súbita nas anomalias de temperaturas, que passam a operar no campo negativo, enquanto que as anomalias de pressão respondem por um aumento repentino, seguido por redução nas duas horas subsequente até uma mínima secundária, a partir da qual, voltam a aumentar até o final da janela temporal.

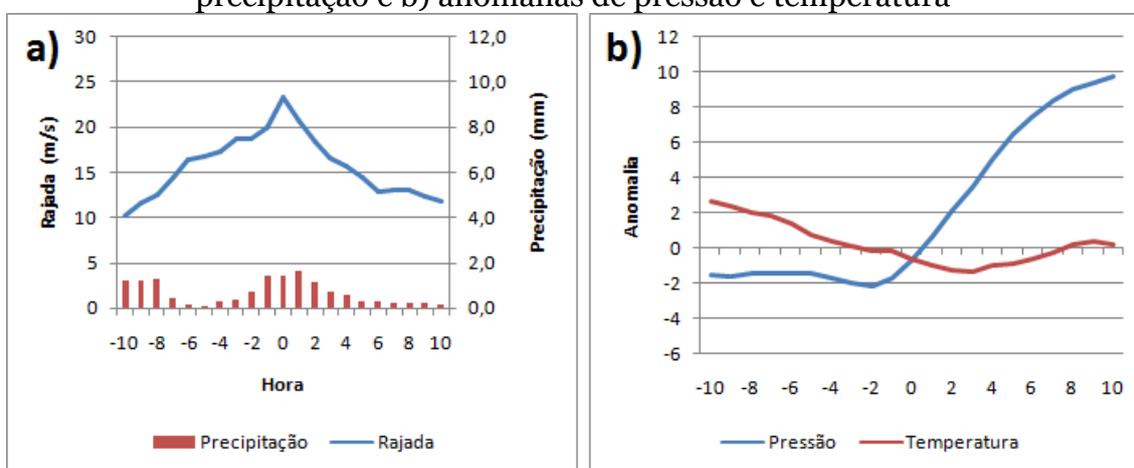
Essas características seriam respostas a padrões de mesoescala que envolvem a passagem em superfície de uma mesoalta induzida por uma piscina de ar frio (FERREIRA; NASCIMENTO, 2016a; 2016b). Engerer, Stensrud e Coniglio (2008) também atestam essas características, indicando que as piscinas frias (*cold pools*) são formadas a partir do resfriamento evaporativo em correntes descendentes de ar (*downdraft*), comuns em sistemas convectivos precipitantes. Inclusive, Noronha, Costa e Santos (2013) esclarecem que, neste caso, as rajadas de vento na superfície são condicionadas por essas correntes de ar descendentes, com o registro da rajada máxima durante a presença da piscina fria (ENGERER; STENSRUD; CONIGLIO, 2008).

Além disso, o resfriamento oriundo das piscinas frias a partir da base das nuvens, promove um aumento na pressão atmosférica em superfície, representada por uma mesoalta (*mesohigh*) (ENGERER; STENSRUD; CONIGLIO, 2008). Ahrens (2001) atesta que para sistemas frontais frios é comum observar a sequência que segue inicialmente, por uma redução contínua da pressão atmosférica até seu mínimo, momento quando ocorre um rápido aumento, para então, continuar aumentando lentamente à medida que a área é ocupada pelo sistema de alta pressão na retaguarda. Ressalta-se ainda, que a temperatura apresenta queda brusca no momento de atuação do sistema. Embora parecido, o padrão sinótico da frente fria não expressa as conformações de mesoescala identificados, principalmente, pela ausência da mesoalta.

Quando observadas, comparativamente, com as rajadas máximas absolutas agrupadas no Grupo 2, é clara a disparidade gráfica, sugerindo,

portanto, que as rajadas desse segundo agrupamento apresentam outra gênese. Com efeito, as evidências observadas neste grupo são incomuns àquelas relatadas por Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b) para as rajadas convectivas. A título de exemplo, nem sempre foi observada a presença de precipitação no momento da rajada máxima absoluta e as anomalias de temperatura e de pressão não retratam a ocorrência de piscina fria ou de mesoalta em superfície. O estado médio das variáveis meteorológicas obtidas a partir das estações associadas ao Grupo 2 é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Série de dados médios referentes ao Grupo 2: a) rajada e precipitação e b) anomalias de pressão e temperatura



Fonte: Dados INMET (2020). Org.: Autor (2022).

Chama-se atenção para o fato de que as rajadas máximas horárias apresentam um formato em "V" invertido, ou seja, exprimem que a rajada máxima absoluta não se destaca repentinamente, mas sim, pela intensificação e posterior redução da intensidade dos ventos (Figura 5). A precipitação, embora presente, não ocorre por meio de pico correlato ao horário da rajada máxima absoluta e se mostra caracterizada por volumes bem inferiores àqueles quantificados para o Grupo 1. Já para as anomalias de temperatura e pressão, nota-se que o centro horário (0h) marca também, uma mudança no padrão, porém, com características distintas ao anterior. As anomalias de temperatura são bem menos acentuadas e apresentam como característica a redução, saindo do campo positivo, para a partir de então, adentrar no campo negativo, oscilando próximo a neutralidade. As anomalias de pressão, por sua vez, saem do âmbito negativo e saltam para valores positivos, cujo máximo encontra-se ao fim da janela temporal analisada.

Assim, a gênese das rajadas máximas absolutas do Grupo 2 são distintas do Grupo 1, sugerindo origem não convectiva e se relacionando antes, a padrões de escala sinótica. Os dados médios acima apresentados representam uma mudança no padrão das rajadas máximas, que podem ser identificadas pela intensificação dos ventos durante um período com pressões relativamente baixas e temperaturas em queda, para a redução da intensidade do vento, concomitante ao aumento da pressão atmosférica. Pode-se, então, relacionar esse padrão, como correspondente de transição entre um sistema de baixa pressão para alta pressão.

Frente ao exposto, a compreensão desses aspectos perpassa pela dinâmica atmosférica atuante entre os dias 30 de junho e 01 de julho de 2020. Algumas pesquisas desenvolvidas (BINDA; GIRARDI; AGUIAR, 2022; FARIA; REIBOITA, 2023; INMET, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2022), esclarecem esses aspectos ao demonstrarem os padrões sinóticos e as fases de evolução dessa ciclogênese explosiva. Segundo os autores supracitados, no dia 30 de junho, um sistema de baixa pressão atuava na porção norte da Argentina, próxima a fronteira com o Paraguai. Para Grimm (2009), sistemas de baixa pressão como este apresentam como característica, aprofundar-se antes da passagem de uma frente fria. No caso específico, Nascimento *et al.* (2022) a associaram com a Baixa do Noroeste Argentino (ESCOBAR E SELUCHI, 2012). Ademais, em altitude, a presença de cavados, junto com a advecção de calor e umidade proveniente do Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS) favoreceram o ambiente sinótico para a ciclogênese (FARIA; REBOITA, 2023; NASCIMENTO *et al.*, 2022).

Jantsch (2019), por meio de uma cartografia dos ciclones extratropicais na região sul do Brasil constatou que, a ciclogênese pode iniciar tanto sobre o oceano, como sobre o continente, com destaque para a porção meridional do Rio Grande do Sul, tal qual o caso aqui em análise. Ademais, é justamente no inverno, que as ciclogêneses são apresentadas para ocorrer sobre o Uruguai e a região sul, conforme diversos estudos sobre o assunto (GAN; RAO, 1991; JANTSCH, 2019; REBOITA, 2008; SINCLAIR, 1996). É importante salientar que os ciclones extratropicais são, conforme Reboita *et al.* (2017), também chamados de "ciclones frontais", uma vez que a ciclogênese, envolve o processo

de frontogênese. Nesse sentido, ainda no dia 30 de junho de 2020, o ciclone já se apresentava desenvolvido, com a presença dos ramos frontais frio e quente acoplado à depressão ciclônica que cruzou a partir do sudoeste do Rio Grande do Sul em direção ao oceano adjacente (BINDA; GIRARDI; AGUIAR, 2022; FARIA; REBOITA, 2023; INMET, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2022).

A queda da pressão no centro do ciclone atingiu, segundo Faria e Reboita (2023), 36 hPa num prazo de 24 horas (12:00 do dia 01/07), tornando-se explosivo 12 horas após sua gênese (00:00 do dia 01/07), momento quando já atuava sobre o oceano. Rogers e Bosart (1986) salientam que esse aspecto é comum em ciclogêneses explosivas. Inclusive, Bittencourt, Fuentes e Cardoso (2013) estudando especificamente esses fenômenos na costa Atlântica da América do Sul, constataram que somente uma pequena parcela (4,7%) dos ciclones explosivos atingiriam o critério definidor – queda da pressão atmosférica acima de 24 hPa em 24 horas – durante a trajetória continental.

À medida que a depressão ciclônica se deslocava para o oceano, seu ramo frontal frio percorreu a região sul, a partir do setor oeste do estado de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul, com eixo de deslocamento preferencial para leste. No estado do Paraná, o sistema frontal frio adentrou pelo sudoeste dirigindo-se para o nordeste e o litoral, atuando, posteriormente, sobre áreas do sudeste e centro-oeste brasileiro (BINDA; GIRARDI; AGUIAR, 2022; FARIA; REBOITA, 2023; INMET, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2022). Foss e Nascimento (2009) estudando a ocorrência de tempestades severas no estado do Rio Grande do Sul, alertaram para o fato de que, no inverno, os sistemas frontais frios podem favorecer o desenvolvimento de núcleos convectivos. Assim, o quadro sinótico expressa que as rajadas máximas absolutas foram desencadeadas por uma ciclogênese extratropical.

Compreende-se o ciclone extratropical como um fenômeno meteorológico de escala sinótica – que neste caso atingiu cerca de 2.750 km de diâmetro (FARIA; REBOITA, 2023; REBOITA; MARRAFON, 2021) –, mas que cuja resposta no tempo atmosférico é condicionada a posição geográfica e aos setores componentes (frente fria, frente quente, frente oclusa e depressão ciclônica). Dessa forma, constata-se que as rajadas pertencentes ao Grupo 1 (gênese convectiva) têm sua origem associada ao sistema frontal frio, enquanto

que, aquelas correlatas ao Grupo 2 (não convectiva) foram induzidas antes, pelo forte gradiente pressão, associado ao centro ciclônico. Ambas as situações são potenciais para a gênese de rajadas intensas de vento.

Gautério, Maier e Oliveira (2018), por exemplo, observaram que um ciclone extratropical na costa do Rio Grande do Sul ocasionou rajadas com velocidades superiores a 20 m/s, a exemplo do caso aqui apresentado. Cardoso, Bitencourt e Mendonça (2012), por sua vez, identificaram que – devido às características geográficas, notadamente o relevo (posição da Serra Geral) –, somente os ciclones extratropicais mais intensos repercutem com rajadas de ventos no setor leste do estado de Santa Catarina, dependendo, inclusive, da posição do sistema em relação à costa. Estas informações, condizem com o observado, uma vez que as rajadas máximas absolutas pertencentes ao Grupo 2 e oriundas do gradiente de pressão do ciclone, afetaram especificamente a porção leste do Rio Grande do Sul e cuja única exceção foi Araranguá, no litoral sul catarinense.

Ao estudarem a ocorrência de ventos intensos no estado do Paraná, Franco, Menezes e Vasconcellos (2020) constataram que, mesmo com a presença do JBN transportando calor e umidade, nem sempre havia gradiente de pressão em escala sinótica que explicasse a ocorrência de tais rajadas. Nesse sentido, observaram que sistemas atmosféricos de mesoescala seriam os responsáveis pelas rajadas de vento. A partir de dados coletados em uma estação meteorológica, identificaram condições semelhantes a uma mesoalta (aumento da pressão), no horário da rajada, momento concomitante com a queda brusca de temperatura – fato condizente com a piscina fria, conforme relatado anteriormente.

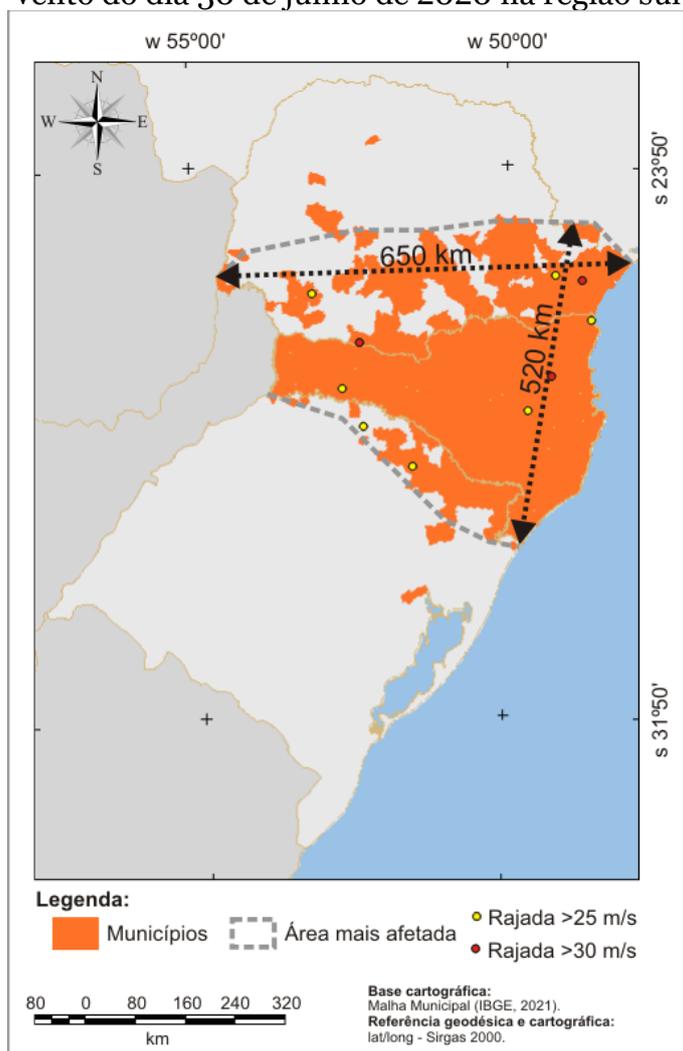
Com isso, no caso do Grupo 1, a frontogênese associada, produziu uma extensa linha de instabilidade (*squall-line*) que desencadeou um sistema de tempestades que cruzou os três estados do sul do Brasil (FARIA; REBOITA, 2023; INMET, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2022). Newton (1950) define as linhas de instabilidade como um sistema linear de tempestades que se desenvolve associada à frentes frias. Neste contexto, Ribeiro (2018) atesta que a ocorrência de piscinas frias potencializam a formação desses sistemas de tempestades que se organizam como uma frente de rajada, que podem estar

acopladas ao longo de uma frente fria, ou então, antecipando-as, momento quando são chamadas de linhas de instabilidade pré-frontal (*pre-frontal squall-line*) (AHRENS, 2001; NEWTON, 1950). Para Loehrer e Johnson (1995) as linhas de instabilidade são exemplos de sistemas convectivos de mesoescala (*Mesoscale Convective Systems*).

Para se ter uma dimensão do reflexo da linha de instabilidade que induziu as rajadas máximas absolutas durante o episódio aqui apresentado, Rodrigues (2020, p.5) associou-a como “...o evento que em curto espaço de tempo apresentou maior abrangência de tempestade severa já registrada em SC”. Giehl *et al.* (2020) salienta que, dos 295 municípios catarinenses, 257 foram atingidos. Os prejuízos registrados tanto nas cidades como nas áreas rurais, conduziu ao Governo Estadual a declarar situação de calamidade pública em todos os municípios catarinenses (Decreto n.718/2020). Adicionalmente, municípios dos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul também foram afetados por este evento meteorológico extremo, conforme pode ser observado na Figura 6. Contudo, é evidente tanto pela cartografia como pelas informações constantes no Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2iD) (Quadro 1), que o estado de Santa Catarina foi o que mais afetado.

Assim, a Figura 6 retrata os municípios atingidos e que sofreram algum tipo de dano e/ou prejuízo (Quadro 1) devido às intensas rajadas vento do dia 30 de junho de 2020, ou seja, por aquelas abordadas neste trabalho como pertencentes ao Grupo 1. Atenta-se que há uma certa combinação quando se compara esta informação, com a cartografia apresentada na Figura 2, evidenciando uma associação entre as rajadas máximas absolutas e seus retrospectos. É notável, portanto, a caracterização desse episódio como um desastre natural pertencente ao grupo meteorológico, do subgrupo tempestade, do tipo tempestade convectiva e do subtipo vendaval (1.3.2.1.5 do COBRADE). Todavia, em termos meteorológicos, este episódio poderia ser caracterizado como um *derecho*, tal qual como preliminarmente tratado por Matos *et al.* (2020).

Figura 6 - Municípios e determinação da área mais atingida pelas rajadas de vento do dia 30 de junho de 2020 na região sul



Fonte: Defesa Civil estadual (Paraná e Rio Grande do Sul), Decreto estadual (Santa Catarina).
Dados meteorológicos: INMET (2020).

Quadro 1 - Danos sociais e materiais causados pelas rajadas de vento do dia 30 de junho de 2020 na região sul do Brasil

Danos/Perdas	PR	RS	SC	TOTAL
Mortos	1	0	17	18
Feridos	8	7	139	154
Desabrigados	5	3	310	318
Desalojados	304	390	8.111	8.805
Habitacões danificadas	2.836	2.722	73.983	79.541
Habitacões destruídas	6	22	290	318

Fonte: Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2iD) (2020).

Johns e Hirt (1987) resgatam o termo *derecho* aplicando-o para se referir a episódios de tempo severo com danos em ampla extensão areal causados por intensas rajadas de vento originadas por correntes de ar descendentes

(*downburst*) em sistemas convectivos de mesoescala transientes. Os mesmos autores, propuseram, quatro critérios iniciais para o reconhecimento de um *derecho*:

- a) área concentrada de danos com no mínimo 400 km de extensão contendo registros de rajadas >26 m/s;
- b) os registros devem apresentar padrão progressivo indicando o deslocamento do sistema de tempestades;
- c) no mínimo, três registros de rajadas >33 m/s separados por uma distância mínima de 64 km uns dos outros; e, d) a sequência de danos não deve ultrapassar o lapso temporal de três horas entre seus registros.

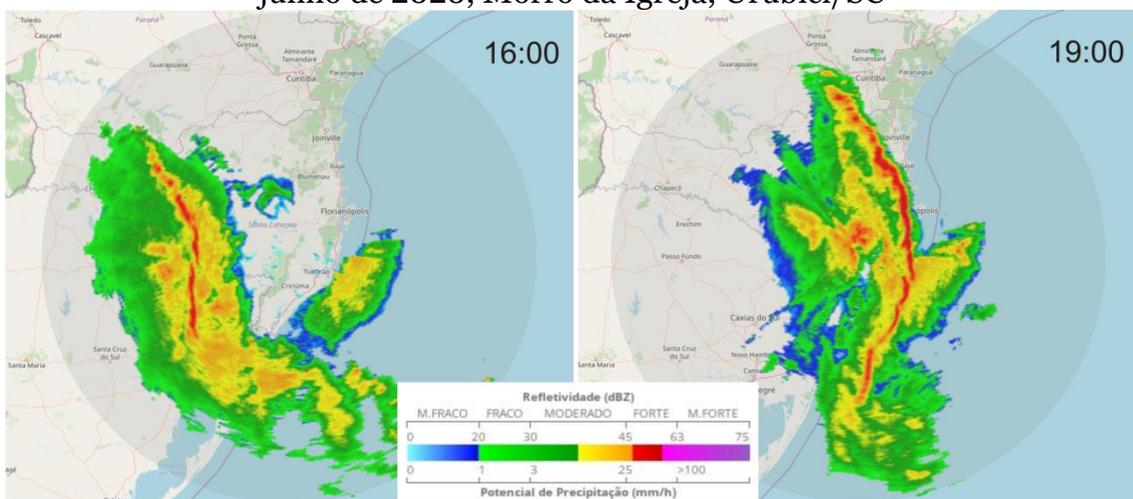
Frente ao exposto, é fato que o item "a" e "c" de Johns e Hirt (1987) são satisfeitos, tanto pela ampla área de municípios que contabilizaram prejuízos, como pela ocorrência de rajadas >26 m/s (Itapoá/SC, Curitiba/PR, Ituporanga/SC, Erechim/RS, Lagoa Vermelha/RS, Dois Vizinhos/PR e Chapecó/SC) ou então, >33 m/s (Clevelândia/PR, Indaial/SC e Morretes/PR) (Figura 6). O item "b" e "d" também é cumprido, uma vez que as rajadas máximas absolutas apresentam padrão sequencial a partir da tarde daquele dia e percorre a área chegando ao litoral em torno das 20 horas e ao noroeste do Paraná, às 23 horas daquele dia.

Contudo, Corfidi *et al.* (2016), revisaram o termo *derecho* e propuseram uma definição da faixa de danos de no mínimo 100 km de largura por 650 km de comprimento. Mesmo com este critério mais restritivo, o episódio em pauta, ao cruzar o estado do Paraná, alcança aproximadamente esse valor (650 km) com uma faixa entre 250 km (oeste) a mais de 500 km de largura (porção leste). O interessante, é que para os autores supracitados, os atributos referentes aos valores quantitativos de rajada máxima absoluta, bem como, do lapso temporal seriam menos importantes, dando maior ênfase a padrões meteorológicos, como a presença de piscina fria (já observada nos dados acima apresentados) e pela assinatura de eco de arco (*bow echoes*) em radares meteorológicos (CORFIDI *et al.*, 2016).

Com a finalidade de atestar esse último atributo, apresenta-se na figura 7 duas imagens do radar meteorológico localizado no Morro da Igreja

(REDEMETS), município de Urubici, na região serrana catarinense. Às 16 horas do dia 30 de junho é possível observar a linha de instabilidade atuando entre o sul do Paraná, cruzando o meio oeste de Santa Catarina até a porção norte do Rio Grande do Sul. Três horas depois, às 19 horas, a linha de instabilidade já se encontra nas imediações da região metropolitana de Curitiba e na fachada litorânea catarinense, enquanto que, no Rio Grande do Sul o sistema já se encontrava sobre o oceano. O que mais chama atenção nas imagens é a assinatura de eco de arco, principalmente, na faixa de forte refletividade (>45 dBZ, em vermelho na figura), confirmando a assinatura esperada por Corfidi *et al.* (2016).

Figura 7 - Imagens de radar meteorológico das 16 e das 19 horas do dia 30 de junho de 2020, Morro da Igreja, Urubici/SC



Fonte: REDEMETS (2020) modificada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou avaliar a gênese das rajadas máximas absolutas registradas durante o episódio de 30 de junho e 1 de julho de 2020. A partir de dados oriundos de estações meteorológicas automáticas e por um critério de seleção inicial da série para a análise, aplicou-se a metodologia de Ferreira e Nascimento (2016a; 2016b). O exame dos dados e a observação gráfica conduziram a uma diferenciação das rajadas máximas absolutas em dois grupos, que embora estivessem associados à ciclogênese explosiva, apresentavam especificidades.

O Grupo 1, de origem convectiva, originou-se a partir de uma frente fria em escala sinótica, que se acoplava à depressão ciclônica, esta última, correlacionada ao Grupo 2, de gênese não convectiva e cujas rajadas máximas absolutas foram resultado do forte gradiente de pressão induzido pelo aprofundamento barométrico. Em ambos os grupos foram registradas localidades com rajadas máximas absolutas que superaram a casa dos 30 m/s. Estes grupos refletiam, ainda, uma diferenciação espacial e temporal, que na essência se associavam a posição dos sistemas embutidos no ciclone extratropical.

No caso específico das localidades pertencentes ao Grupo 1, os dados e o padrão gráfico atestavam a ocorrência de piscina fria e mesoalta, bem como, precipitação na hora de registro da rajada máxima absoluta. Nesse sentido, atribuiu-se ênfase na análise deste grupo, reconhecendo sua associação com Sistemas Convectivos de Mesoescala, mais especificamente, uma linha de instabilidade (FARIA; REBOITA, 2023; INMET, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2022). A ampla faixa areal (latitudinal, entre o norte do Rio Grande do Sul e a porção meridional do Paraná, e longitudinal, do extremo oeste ao litoral) coberta com os registros de rajadas, os relatos de municípios atingidos, os dados gerados e o padrão sequencial em sua ocorrência (a partir do oeste/sudoeste para o litoral/noroeste) conduziu à avaliação da aplicabilidade, neste caso, do termo *derecho*, com vistas a trazer novos elementos para comprovar seu uso como previamente sugerido por Matos *et al.* (2020).

Ashley e Mote (2005) consideram que os *derechos* podem ser tão perigosos quanto tornados ou furacões, respondendo por danos materiais, sociais e econômicos. Johns e Hirt (1987) oferecem quatro critérios gerais para a determinação de *derechos* e cuja aplicação em outros estudos é recorrente (GATZEN, 2004; MYSLAW; MATUSZKO, 2014). Corfidi *et al.* (2016), por sua vez, propuseram uma revisão nos critérios, atribuindo atenção à aspectos relacionados a padrões de mesoescala e a assinaturas espectrais em radares meteorológicos. Assim, ao menos preliminarmente, o episódio retratado nesta pesquisa poderia ser chamado de *derecho* por satisfazer os critérios apresentados tanto por Johns e Hirt (1987), como por Corfidi *et al.* (2016).

No contexto brasileiro, três estudos ganham notoriedade ao abordarem casos de *derechos* na região sul (FIGUEIREDO; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2019; OLIVEIRA; CUSTODIO; NASCIMENTO, 2013; RIBEIRO, 2018). Contudo, considerando que o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013) atesta que a região sul responde por uma parcela significativa dos registros de vendavais (77%), granizos (88%) e tornados (98%), é possível aventar que, possivelmente, uma parcela destes desastres possam ter sido originados por tempestades que eventualmente, poderiam ser tratadas como *derechos*. Porém, conforme expressam Myslaw e Matuszko (2014), os *derechos* ainda são uma incógnita no conhecimento das ciências atmosféricas e que necessitam de novos estudos para melhorar a compreensão.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos discentes Guilherme Luiz Girardi e Marciele de Aguiar, do curso de Geografia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) pelo auxílio na organização dos dados.

REFERÊNCIAS

AHRENS, C.D. **Essentials of meteorology**: an invitation to the atmosphere. 3.ed. Pacific Grove/CA: Brooks/Cole/Thompson Learning, 2001. 464 p.

ASHLEY, W.S.; MOTE, T.L. Derecho hazards in the United States. **American Meteorological Society**, p.1577-1592, nov. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-11-1577>. Acesso em: 04 jul. 2022.

BINDA, A.L.; GIRARDI, G.L.; AGUIAR, M. A história de um desastre natural: foi um ciclone bomba que atingiu a região sul do Brasil em junho/julho de 2020? **Geotextos**, v.18, n.2, p.177-199, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/geo.voi2.50773>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BITENCOURT, D.P.; FUENTES, M.V.; CARDOSO, C.S. Climatologia de ciclones explosivos para a área ciclogênica da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n.1 p.43-56, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000100005>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CARDOSO, C.S.; BITENCOURT, D.P.; MENDONÇA, M. Comportamento do vento no setor leste de Santa Catarina sob influência de ciclones extratropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.1, p.39-48, 2012. Disponível

em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000100005>. Acesso em: 13 jun. 2022.

CENTRO DE PRECISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Casos significativos do mês de junho de 2020**. São José dos Campos: CPTEC/INPE, 2020. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/130824>. Acesso em: 10 set. 2020.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISA SOBRE DESASTRES; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012**. 2.ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 126 p. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/#> Acesso em: 25 fev. 2021.

CORFIDI, S.F *et al.* A proposed revision to definition of "derecho". **American Meteorological Society**, p.935-949, jun. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00254.1>. Acesso em: 23 mai. 2022.

ENGERER, N.A.; STENSRUD, D.J.; CONIGLIO, M.C. Surface characteristics of observed cold pools. **Monthly Weather Review**, v.136, n.12, p.4839-48-49, dez. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2008MWR2528.1> Acesso em: 24 mar. 2022.

ESCOBAR, G.C.J.; SELUCHI, M.E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do Chaco e do Noroeste Argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p.365-375, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000300011> Acesso em: 21 jul. 2022.

FARIA, L.F.; REBOITA, M.S. Eventos meteorológicos associados ao ciclone explosivo ocorrido em junho de 2020 e impactos socioambientais no estado de Santa Catarina. **Geografia**, Rio Claro/SP, v.48, n.1, p.1-27, 2023. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/16661> Acesso em: 28 mar. 2023.

FERREIRA, A.G. **Meteorologia prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 189 p.

FERREIRA, V.; NASCIMENTO, E.L. Discriminação entre rajadas de vento convectivas e não-convectivas. **Ciência e Natura**, v.38, ed. Especial - IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p.225-231, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X20288>. Acesso em: 18 fev. 2022.

FERREIRA, V.; NASCIMENTO, E.L. Convectively-induced severe wind gusts in southern Brazil: surface observations, atmospheric environment, and association with distinct convective modes. **28th Conference on Severe Storms**, Portland/USA, 2016b. Disponível em: <https://ams.confex.com/ams/28SLS/webprogram/Paper299442.html>. Acesso em: 24 mar. 2022.

FIGUEIREDO, E.L.; NASCIMENTO, E.L.; OLIVEIRA, M.I. Analysis of two derecho events in southern Brazil. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.131, p.1171-1190, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00703-018-0654-x>. Acesso em: 23 mai. 2022.

FOSS, M.; NASCIMENTO, E.L. Condicionamento sinótico de alguns eventos de tempestades severas ocorridos no estado do Rio Grande do Sul em 2003. **Ciência e Natura**, v.31, VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p.353-356, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/9590>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FRANCO, R.M.; MENEZES, W.F.; VASCONCELLOS, F.C. Análise sinótica e de mesoescala de ventos intensos com impacto destrutivo em linhas de transmissão de energia elétrica no Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.07, p.3177-3194, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3177-3194>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GAN, M.A.; RAO, V.B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v.119, n.6, p. 1293-1302, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1991\)119%3C1293:SCOSA%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1991)119%3C1293:SCOSA%3E2.o.CO;2). Acesso em: 09 mar. 2021.

GAN, M.A.; SELUCHI, M.E. Ciclones e ciclogênese. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 111-125.

GATZEN, C. A derecho in Europe: Berlin, 10 July 2002. **Weather and Forecasting**, v.19, p.639-645, jun. 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(2004\)019%3C0639:ADIEBJ%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(2004)019%3C0639:ADIEBJ%3E2.o.CO;2). Acesso em: 28 jun. 2022.

GAUTÉRIO, B.C.; MAIER, É.L.B.; OLIVEIRA, U.R. Ciclone extratropical de outubro de 2016: processos atmosféricos de formação e impactos no extremo sul do Brasil. **CaderNAU**, Cadernos do Núcleo de Análises urbanas, v.10, n.1, p.22-28, 2018. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/cnau/article/view/8455>. Acesso em: 09 mar. 2021.

GERARDI, L.H.O.; SILVA, B.C.N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981. 161p.

GIEHL, A.L. *et al.* **Efeitos socioeconômicos causados pelo ciclone extratropical no estado de Santa Catarina em 2020**. Florianópolis: Epagri, 2020, 57 p. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/DOC/article/view/1076>. Acesso em: 24 fev. 2021.

GRIMM, A.M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.259-275.

GONÇALVES, R.C.; GUETTER, A.K. Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.34, n.2, p.301-313, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863340033> Acesso em: 22 fev. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Resumo dos fortes ventos e tempestades associados à formação do ciclone extratropical e ao desenvolvimento de uma “ciclogênese explosiva” ou “ciclone bomba”**. Nota técnica. 2020. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/notasTecnicas>. Acesso em: 10 nov. 2020.

JANTSCH, M. **Climatologia de ciclone extratropicais na região sul do Brasil de 2000 a 2016**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/193750> Acesso em: 24 fev. 2021.

JOHNS, R.H.; HIRT, W.D. Derechos: widespread convectively windstorms. **Weather and Forecasting**, v.2, p.-32-49, mar. 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1987\)002%3C0032:DWCIW%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1987)002%3C0032:DWCIW%3E2.o.CO;2). Acesso em: 28 jun. 2022.

LOEHRER, S.M.; JOHNSON, R.H. Surface pressure and precipitation life cycle characteristics of PRE-STORM Mesoscale Convective Systems. **Monthly Weather Review**, v.123, p.600-621, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123%3C0600:SPAPLC%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123%3C0600:SPAPLC%3E2.o.CO;2). Acesso em: 24 mar. 2022.

MATOS, A. *et al.* Análise do tempo severo de 30 de junho de 2020 no sul do Brasil. **Boletim Meteorológico Especial**. 2020. Disponível em: <http://meteorologia.ufpel.edu.br/noticias/cpmet.php>. Acesso em: 23 ago. 2022.

MARCELINO, I.P.V.O. *et al.* Adversidades atmosféricas no estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2010. In: HERRMANN, M.L.P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014, p.13-82.

MYSLAW, D.C.; MATUSZKO, D. An analysis of selected cases of derecho in Poland. **Atmospheric Research**, v.149, p.263-281, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.06.016>. Acesso em: 28 jun. 2022.

NASCIMENTO, A.L.S. *et al.* Descrição das condições atmosféricas associadas a um ciclone explosivo observado no Sudeste da América do Sul em junho/julho de 2020. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.01, p.282-296, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p282-296>. Acesso em: 13 ago. 2022.

NEWTON, C.W. Structure and mechanism of the prefrontal squall line. **Journal of Meteorology**, v.7, p.210-222, jun. 1950. Disponível em:

[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1950\)007%3C0210:SAMOTP%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1950)007%3C0210:SAMOTP%3E2.o.CO;2). Acesso em: 13 jun. 2022.

NORONHA, A.W.T.; COSTA, A.A.; SANTOS, A.C.S. Desenvolvimento de uma parametrização do efeito de rajadas associadas a sistemas convectivos nos fluxos de calor na superfície utilizando modelagem de ensemble de nuvens. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.4, p.457-469, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000400011>. Acesso em: 24 mar. 2022.

OLIVEIRA, M.; CUSTODIO, D.; NASCIMENTO, E.L. Avaliação do ambiente sinótico de um bow echo em 29 de maio de 2013 no Rio Grande do Sul: um episódio de derecho? **Ciência e Natura**, Santa Maria, Edição especial - VIII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p.317-319, dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X11652>. Acesso em: 23 mai. 2022.

REBOITA, M.S. **Ciclones extratropicais sobre o Atlântico Sul**: simulação climática e experimentos de sensibilidade. 2008. 294 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo/USP, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.dca.iag.usp.br/teses/2008/>. Acesso em: 09 mar. 2021.

REBOITA, M.S. *et al.* Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didática**, v.8, n.1, p.34-50, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v8i1.8637425>. Acesso em: 09 mar. 2021.

REBOITA, M.S. *et al.* Ciclones em superfície nas latitudes austrais: parte I – revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.2, p.171-186, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-77863220010>. Acesso em: 26 jun. 2018.

REBOITA, M.S.; MARRAFON, V.H. Ciclones extratropicais: o que são, climatologia e impactos no Brasil. **Terrae Didática**, Campinas, v.17, p.1-13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v17i00.8666028>. Acesso em: 01 fev. 2022.

RIBEIRO, B.Z. **Linhas de instabilidade no sul do Brasil**. 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/04.30.13.39/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2022.

RODRIGUES, M.L.G. O monitoramento e avisos de eventos meteorológicos extremos de Santa Catarina em 2020. **Agropecuária Catarinense**, v.33, n.3, p.5-6, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1082>. Acesso em: 21 fev. 2021.

ROGERS, E.; BOSART, L.F. An investigation of explosively deepening oceanic cyclones. **Monthly Weather Review**, v.114, p.702-718, abr. 1986. Disponível

em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1986\)114%3C0702:AIOEDO%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1986)114%3C0702:AIOEDO%3E2.o.CO;2). Acesso em: 25 fev. 2021.

SANTA CATARINA. **Decreto estadual n. 718, de 10 de julho de 2020.** Altera o Anexo Único do Decreto n. 700, de 2020, que declara situação anormal, caracterizada como estado de calamidade pública, nas áreas dos municípios do Estado de Santa Catarina afetados por evento adverso natural, grupo meteorológico, causando vendaval, conforme o COBRADE 1.3.2.1.5, e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, Ano LXXXVI, n. 21.307, p.2-3. Disponível em: <https://portal.doe.sea.sc.gov.br/>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, São Paulo, Ano 19, v.I, n.20, p.27-49, jan./jul. 2003. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/187>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SINCLAIR, M.R. Reply. **Monthly Weather Review**, v.124, p.2615-2618, nov. 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1996\)124%3C2615:R%3E2.o.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1996)124%3C2615:R%3E2.o.CO;2). Acesso em: 09 mar. 2021.

TAVARES, R. Clima, tempo e desastres. *In*: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org.). **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p.111-146.

Recebido em 29 de agosto de 2022
Aceito em 23 de abril de 2023