

Fatores dinâmicos locais e ocorrências de tempestades com granizo

Local dynamic factors and hailstorms occurrences

Marcos Balicki

Secretaria de Estado da Educação, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil

marcosbalicki88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5884-5562>

Aparecido Ribeiro de Andrade

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil

apaandrade@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0660-0264>

Karin Linete Hornes

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, Brasil

karinhornes@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3040-5688>

RESUMO

As precipitações de granizo são comuns em regiões de clima tropical e/ou subtropical, pois normalmente ocorrem em ambientes com alta instabilidade atmosférica e em maiores amplitudes térmicas. Nesse sentido, a busca pelo entendimento das causas e dos efeitos desse tipo de precipitação para a sociedade é fundamental, já que pode ajudar na definição de estratégias para mitigar os impactos negativos. Diante disso, este estudo objetivou relacionar a quantidade e o tamanho de granizos com cinco fatores influenciadores na ocorrência desse tipo de precipitação: horário, temperatura, estação do ano, tipos de tempestade (isoladas ou organizadas) e a quantidade de chuva (mm). A pesquisa foi realizada durante o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2020 no município de Laranjeiras do Sul, estado do Paraná, Brasil. Ao todo, foram coletados dados de sete eventos. A metodologia se amparou na utilização de ferramentas tais como o pluviômetro analógico, o termômetro, paquímetros, e imagens de radar obtidas junto ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Os dados foram organizados em tabelas para cada evento, sendo efetuada uma análise estatística básica. Os resultados indicaram que as maiores quantidades de granizo precipitaram quando a temperatura do ar estava em torno de 18°C, com pluviosidade média superior a 1 mm/min e sob intensos vendavais. Quanto aos tamanhos, notou-se que granizos maiores de 20 mm de diâmetro ocorreram preferencialmente em dias mais quentes no inverno, com temperatura em torno de 20,8°C.

Palavras-chave: Eventos extremos, Precipitação, Clima local, Granizo.

ABSTRACT

Hail precipitation swells are common in tropical and/or subtropical climate regions, as they usually occur in environments with high atmospheric instability and greater temperature ranges. In this sense, the search for understanding the causes and effects of this type of precipitation for society is fundamental, since it can help in the definition of strategies to mitigate negative impacts. Therefore, this study aimed to relate the amount and size of hails with five influential factors in the occurrence of this type of precipitation: time, temperature, season, types of storms (isolated or organized) and the amount of rain (mm). The research was conducted from January 2018 to December 2020 in the municipality of Laranjeiras do Sul, State of Paraná, Brazil. In all, data from seven events were collected. The methodology relied on the use of tools such as analog rain gauge, pocket thermometer, calipers, and radar images obtained from Meteorological System of Paraná (SIMEPAR). The data were organized in tables for each event and basic statistical analysis was performed. The results indicated that the largest amounts of hail precipitated when the air temperature was around 18 °C, with average rainfall greater than 1mm/min and with gale. As for the sizes, it was noticed that hails larger than 20 mm in diameter occurred preferably on warmer days in winter, with temperature around 20.8°C.

Keywords: Extreme events, Precipitation, Local climate, Hail.

1. INTRODUÇÃO

Os fenômenos naturais associados à dinâmica atmosférica ocorrem desde o início da formação do planeta Terra. Eles são responsáveis pela estruturação e pelo modelamento das paisagens. Quando esses eventos causam danos em regiões habitadas pelo homem, são denominados de desastres naturais; no caso de ocorrerem em grandes proporções, são denominados de catástrofes (VESTENA, 2017). Em caso de desastres ou catástrofes, as populações mais vulneráveis são as que sofrem os maiores impactos econômicos e sociais. A vulnerabilidade depende de algumas variáveis, tais como infraestrutura, faixa etária da população, densidade demográfica, pobreza, dentre outros elementos. Assim, é possível presumir que existam riscos diferente para cada evento, pois estão diretamente relacionados ao nível de vulnerabilidade da população afetada (CASTRO, 1998).

Todos os espaços terrestres são acometidos por eventos naturais, mas, em alguns locais, há uma maior frequência de determinados fenômenos. Na baixa atmosfera, por exemplo, destaca-se um evento comumente associado a catástrofes em vários locais do mundo: as precipitações de granizo. Esses eventos são potencialmente limitadores das atividades humanas e ocorrem, principalmente, em médias latitudes e em condições meteorológicas bem específicas.

A compreensão da gênese e da atuação dos fenômenos severos se justifica pela busca de padrões atmosféricos que os expliquem, podendo definir a intensidade de um determinado evento. Esses indicativos, caso se repitam em outros eventos semelhantes, poderão ser utilizados como parâmetros para previsões e alertas.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, organizado pelo Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC, 2013), o estado do Paraná é acometido constantemente por tempestades severas e eventos a elas associados, como o granizo. Esses representam aproximadamente 18% de todos os desastres naturais.

Diante desse panorama, este trabalho objetivou verificar quais fatores locais mais influenciam no tamanho e na quantidade de granizo precipitado. O conhecimento a respeito dos mecanismos envolvidos na sua formação, nos locais de ocorrência e nas consequências geradas por sua atuação possibilita à sociedade a elaboração de estratégias e de planejamento por parte dos órgãos governamentais, além de proporcionar à população resiliência diante de tais eventos.

Para apresentar os resultados desta investigação, o artigo encontra-se organizado em cinco seções, sendo a introdução, a primeira; na segunda, discorre-se acerca do processo de formação e de precipitação de granizos; na terceira, são explicitados os aspectos metodológicos; na quarta, são apresentados e analisados os dados; na quinta, são tecidas as considerações finais.

2. O PROCESSO DE FORMAÇÃO E DE PRECIPITAÇÃO DE GRANIZOS

A ascensão do ar quente desencadeia a redução da pressão atmosférica da superfície, o que facilita a convergência de ar em baixos níveis e a divergência em maiores altitudes. Quando esse processo é imbuído de umidade e há constância no aquecimento, o ar pode atingir o seu nível de condensação com saturação e umidade relativa igual a 100%. Nesse nível, o ar atinge o seu ponto de orvalho, se processa a condensação e se desencadeia a liberação de calor latente, fonte para o desenvolvimento de atividades convectivas (LOBO, 2019).

Quando há muita liberação de calor latente, devido à condensação de ar quente e úmido, ocorre também um forte gradiente horizontal e barométrico. Esses elementos auxiliam no desenvolvimento vertical das nuvens *Cumulonimbo* (*Cbs*), que podem crescer e atingir a altitude ideal para o congelamento das moléculas de água.

Bento (2011) aponta que um indício de que ocorrerá uma tempestade de granizo é o aparecimento de nuvens denominadas *Pileus*, ou seja, nuvens finas de gelo que se formam sobre picos das altas nuvens *Cbs* (**Figura 1**).

Figura 1: Nuvens *Pileus* sobre o topo de *Cumulonimbo*, a Sudeste de Laranjeiras do Sul, em 16/04/2021 às 16h16min (temperatura ambiente de 26°C)



Fonte: Arquivo pessoal de Marcos Balicki (2021).

Essas nuvens também costumam aparecer em espaços de tempo muito curtos (alguns segundos) sobre o topo de altas montanhas principalmente pela manhã, sobre colunas de erupções vulcânicas e sobre cogumelos de explosões nucleares. A altitude em que ocorrem as nuvens *Pileus* é chamada de ponto isotérmico (0 °C), pois, abaixo dele existe maior temperatura e umidade e, acima dele, marca-se o início de temperaturas negativas e correntes frias (IHADUA, 2021), responsáveis pelo congelamento de moléculas e por facilitar o desenvolvimento do granizo.

Conforme a definição do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT), o granizo se forma quando gotas de água são levadas por rápidas correntes de ar ascendentes até altas altitudes (INPE/ELAT, 2020). Além disso, esse processo ocorre na parte interna da nuvem (INPE/ELAT, 2021), e como ali a temperatura é menor, as gotículas de água congelam, conglomeram com outros granizos menores e ganham peso suficiente para não serem novamente levadas pelas correntes ascendentes e cair na superfície, sendo atraídas pela gravidade (Figura 2).

Figura 2: Processo de formação de granizo



Fonte: Bueno (2019).

Algumas notas de operações de voos apontam que a presença de granizo em uma *Cbs* varia conforme a altitude e o vento. Abaixo do nível de voo *Flight Level* (FL) 100 (equivalente a 3.048 m) a cerca de até 2 milhas náuticas (equivalente a 3,2 km) de proximidade da nuvem, há 25% de chance de que o granizo seja encontrado. Entre o FL 100 (3.048 metros) e FL 200 (6.096 m), a porcentagem de granizo aumenta para 60% dentro da nuvem e 40% em suas proximidades. Acima de FL 200 (6.096 m), o percentual sobe para 80% na localidade da bigorna e 20% em suas proximidades (FLIGHT..., 2007).

A forte presença de granizo indica uma atividade convectiva intensa, com maiores chances de gerar eventos extremos (ou severos) (BALICKI; ANDRADE; HORNES, 2020), principalmente se essa for acompanhada de muitos raios (LOPES, 2019). Popularmente, os granizos maiores que cinco milímetros também são chamados de “saraivas” (INPE/ELAT, 2021), e, onde caem, destroem plantas, veículos, telhados e ferem animais e pessoas, causando, inclusive, fatalidades.

A quantidade de ar no interior dos glóbulos de gelo faz com que os granizos fiquem mais ou menos opacos, refletindo-se inclusive em sua densidade (BROWNING, 1977). Segundo a *American Meteorological Society* (AMS), essas camadas de gelo, que contêm muitas bolhas de ar e alternam com camadas de gelo relativamente claro, correspondem aos chamados crescimento seco e crescimento úmido (AMS, 2012).

De acordo com Mota (1983), durante a precipitação, muitas vezes, os granizos degelam durante a sua trajetória descendente, chegando ao chão em forma de gotas líquidas muito frias, isso porque a temperatura abaixo é maior que o ponto de fusão acima. Por outro lado, o granizo também pode se fundir com outros granizos menores, formando pedras ainda maiores, em regiões mais frias, principalmente em correntes ascendentes em altas altitudes.

Em alguns locais da Terra, o granizo aparece com maior frequência, com destaque à região central dos Estados Unidos (DENNIS; SCHOCK, 1970), à Europa (PUNGE; KUNZ, 2016), ao Japão (OMOTO, 1967) e ao Centro-Sul da América do Sul (MOTA, 1983; BEREZUK, 2009; CALDANA et al., 2019).

Nos Estados Unidos, os estudos das características de tempestades de granizo realizados por Dennis e Schock (1970) mostraram que os eventos potencialmente mais perigosos se associam ao desenvolvimento de nuvens do tipo supercélulas. Essas estruturas condizem com elevadas chances de eventos extremos, como vendavais (*Downburst* e/ou tornados) e granizos, além de chuva em quantidade expressiva. Na Europa, o destaque é a confusão com outros tipos semelhantes, como o galpel e a chuva congelada (PUNGE; KUNZ, 2016). O tamanho desses sólidos é, em geral, menor que 5 mm e sob temperaturas próximas de 0°C.

Os resultados do estudo de Omoto (1967) indicam que, no Japão, a maior concentração de ocorrência de granizo está concentrada no início do verão, porém, existe um segundo máximo distinto no outono, principalmente ao longo do mar do Japão, ocorrendo entre às 14h e 15h. No caso desse país, o tamanho e a maciez são diferentes daqueles registrados nos Estados Unidos.

No estado do Paraná (Brasil), há várias descrições sobre o granizo e seus impactos, como ressaltam as pesquisas de Berezuk (2009), Silva, Caramori e Ricce (2012), CEPED/UFSC (2013), Felix (2015), Tsay (2017), Caldana et al. (2019) e Balicki, Andrade e Hornes (2020). Nessa região, é comum ocorrerem tempestades mais severas na primavera e no verão, devido aos avanços de Frentes Frias (FFs) e às atuações de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs).

Nos locais com altitudes maiores que 500 metros e de orografia ondulada, tais eventos ocorrem com mais frequência (BERLATO; MELO; FONTANA, 2000; CALDANA et al., 2019), sendo mais comuns entre junho e novembro, com maior representativa dos meses de setembro e outubro (CEPED/UFSC, 2013). Essa realidade se aplicada ao Brasil meridional como um todo, incluindo o Sul e Oeste do estado do Paraná, área que foi objeto deste estudo.

Caldana et al. (2019) evidenciaram que a cidade de Laranjeiras do Sul, no Centro-Sul do estado do Paraná, foi a localidade mais afetada em um período de 18 anos, com média de 5,4 eventos/ano (dos 126 eventos que ocorreram, 17 foram de forte intensidade). Esses autores

mencionam que, durante o período analisado, 85 casos foram associados aos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), 45 aos SCMs e 32 às FFs. Vale destacar que essa é uma das regiões mais úmidas do estado do Paraná.

Após descrever como ocorre o processo de formação e de precipitação de granizos, a seguir, explicitam-se os materiais e os métodos utilizados nesta pesquisa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Os dados desta pesquisa foram coletados na área urbana da cidade de Laranjeiras do Sul, mais especificamente no Bairro Cristo Rei (coordenadas: 25,40588°S e 52,39549°O; a altitude de 841 metros). O município está localizado na mesorregião Centro-Sul do estado do Paraná, Brasil (**Figura 3**), e tem uma população estimada de 32.073 habitantes (IBGE, 2019).

Figura 3: A área de estudo



Fonte: Os autores (2021).

Para o desenvolvimento deste estudo, analisou-se um período de 36 meses (de 1º de janeiro de 2018 até 31 dezembro de 2020). Durante o ano, na região em destaque, o tempo se apresenta com regulares precipitações e de céu parcialmente encoberto. O clima do município é do tipo Clima Oceânico Temperado (Cfb), o qual, segundo a metodologia de Wladimir Köppen, indica um clima temperatura úmido ou subtropical. Ao longo do ano, a temperatura varia de 9°C a 27°C e raramente é inferior a 3°C ou superior a 31°C (IAPAR, 2019).

A precipitação média anual, conforme o Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IAPAR), gira em torno de 2.000 mm/ano. O mês de outubro tem maior precipitação, com média de 303 mm, e o mês com menor precipitação é junho, com média de apenas 28 mm (IAPAR, 2019).

De acordo com o relatório da Defesa Civil do Estado do Paraná (2021), no período compreendido entre 1988 e 2020, o município de Laranjeiras do Sul foi acometido por eventos de granizo que geraram três emergências (14/06/2008, 07/08/ 2008 e 22/11/ 2015). Nesse quesito, essa região atende aos condicionantes para ocorrência desse tipo de fenômeno, inclusive de forma severa.

3.2. Metodologia

Este trabalho foi fundamentado principalmente nas obras de Berezuk (2008), que deu suporte para explicar as tempestades de granizo locais em cidades do Paraná, de Costa (2014), a fim de fundamentar os elementos locais para parâmetros de tempo severo, de McNulty (1995) e de Frediani (2003), que permitiram compreender a noção de tempestades severas. Com auxílio desses estudos, realizou-se o monitoramento das ocorrências de precipitação com granizo na região selecionada.

Inicialmente, fez-se um levantamento para verificar as condições de gênese e a dinâmica de como ocorrem tais eventos na região, buscando definir os melhores períodos e as condições meteorológicas para as campanhas à campo.

Para marcar a temperatura do ar ambiente utilizou-se um termômetro, com escala em graus Celsius (°C). Para medir a velocidade do vento em metros por segundo (m/s), um anemômetro digital foi posicionado a 1,5 metros de altura no ponto de observação. Para aferir a quantidade de chuva, recorreu-se a um pluviômetro plástico, montado ao lado dos coletores de granizo.

A fim de se coletar os glóbulos de granizo, foram confeccionados os coletores (armadilhas), com quatro estacas de 50 cm de altura e uma rede com malha de 3 mm, de aproximadamente $1,3 \text{ m}^2$, que interliga os quatro pontos (1 m^2) em formato parabólica, com a armadilha suspensa para a captura (**Figura 4**). Por fim, para medir os glóbulos de granizo (diâmetro médio = diâmetro máximo/2 + diâmetro mínimo/2) em milímetros (mm), foi necessário um paquímetro manual.

Figura 4: Ferramentas utilizadas (à esquerda) e granizos concentrados na armadilha em 23 de abril de 2018 (à direita)



Fonte: Arquivo pessoal de Marcos Balicki (2018).

Feitas as medições, os glóbulos de granizo eram derretidos para se calcular o volume em mm^3 , com base na regra de três simples, utilizando-se o pluviômetro e o total da área da rede (1 m^2). Partiu-se do princípio de que 1 mm de altura equivale a 1 litro/ m^2 .

Para análise da formação e do tipo de tempestade, foram utilizadas imagens do Radar meteorológico do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR)¹. Esse site permite visualizar imagens anteriores, quando no modo “animação”, além de possíveis nuvens com maior chance de granizo (nas cores vermelho ou lilás) e se essas seguem na direção da área de estudo.

Segundo o INPE/ELAT (2021), as nuvens de tempestade podem se apresentar de dois modos: tempestades isoladas (ou tempestades locais) ou em grupos, formando as tempestades organizadas. Uma tempestade é isolada quando não tem ligação próxima com outras tempestades ao seu redor e não compartilha de correntes ascendentes ou descendentes. Já as organizadas são um

¹ Disponível em: <http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/radarmsc>. Acesso em: 15 fev. 2022.

conglomerado de tempestades que formam um grande sistema, como os Sistemas Frontais (SFs), os SCMs e os CCMs (BARRY; CHORLEY, 2013).

Partindo desse critério, foram utilizadas as imagens do Radar Meteorológico do SIMEPAR, banda S. Por telemetria, esse equipamento faz uma varredura e capta a densidade e a direção das nuvens em um raio de 480 km. Em seguida, disponibiliza as imagens em sua página eletrônica² em intervalos de 10 minutos (FUNDAÇÃO ABC, 2021).

Com base no noticiário local, na análise de imagens de radar e de sites informativos meteorológicos como o SIMEPAR³, iniciava-se o processo de monitoramento e de coleta de dados meteorológicos do evento. Com base na análise visual de imagens de radar e de satélite, os equipamentos eram preparados: armadilha, termômetro, pluviômetro, paquímetro, caixa térmica, celular (fotografia) e um computador portátil para acompanhar as imagens de radar.

Escolheu-se um local aberto, com no mínimo 20 metros de distância de qualquer obstáculo mais alto (como casas e árvores), e aguardava-se a evolução do evento. As leituras de imagens de radar (formato da tempestade) e a pluviosidade eram coletadas e armazenadas a cada 10 minutos. Ao se precipitarem os granizos, esses eram colhidos com um recipiente plástico da armadilha a cada 1 minuto e encaminhado para um refrigerador para posterior análise dos tamanhos (diâmetros em milímetros) e da quantidade de grãos. Por fim, com os dados coletados, elaboraram-se planilhas e gráficos no *software Excel*. Os dados e os resultados são expostos a seguir.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de janeiro de 2018 a dezembro de 2020, foram analisadas 26 tempestades com probabilidade de granizo. Sobre o local de espera, nove tempestades precipitaram algum granizo, mas de apenas sete foi possível a coleta de dados (23/04/2018, 01/01/2020, 30/06/2020, 13/07/2020, 28/07/2020, 17/09/2020 e 03/12/2020). Foram descartados os dias 27/10/2019 e 27/09/2020, haja vista que não foi possível coletar dados mínimos suficientes.

Para realizar a análise detalhada dos eventos, foram destacados cinco fatores potenciais na formação e na ocorrência do evento: horário, temperatura do ar, estação do ano, tipo de tempestade (isolada ou organizada) e quantidade de precipitação líquida (chuva). Em cada evento, as informações foram tratadas separadamente e depois comparadas.

4.1. Horário de ocorrência dos eventos

Com relação ao horário, nota-se uma concentração do meio ao final da tarde, entre às 14h00min e às 21h00min (cinco eventos), e um segundo período (dois eventos) entre às 02h00min e às 03h00min da madrugada. Esse padrão está relacionado aos estágios evolutivos das nuvens de rápido desenvolvimento vertical, como as *Cumulonimbo*, e às condições ambientais. Raramente as precipitações de granizo são observadas no horário da manhã na região de estudo, possivelmente porque, nesse período, ocorrem as temperaturas mínimas diárias.

O horário se mostrou eficaz para identificação da concentração de eventos na região de Laranjeiras do Sul (PR), independente da sua intensidade. Em outras palavras, eventos de granizo tendem a ocorrer pouco após o horário de pico na temperatura do ar, sobretudo, em períodos mais úmidos. Tal condição já foi demonstrada por Felix (2015), ao afirmar que precipitações de granizo no estado do Paraná normalmente se concentram nos horários entre às 16 e às 20 horas. Balicki, Andrade e Hornes (2020) também estudaram esse processo na mesma região e, com base nos dados da Defesas Civil, constataram que a maior parte dos eventos fica concentrada entre às 15h e às 19h.

² Disponível em: http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/radar_msc

³ Disponível em: http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/page_map_view/MAPA_SIMEPAR_PREVISAO_MUNICIPIOS. Acesso em: 15 fev. 2022.

4.2. Estações do ano em que ocorrem os eventos

O inverno foi a estação em destaque para ocorrência de eventos com granizo, no período estudado. Essa concentração ocorreu devido à temperatura do ar ambiente normalmente ficar abaixo de 20°C, o que favorece a chegada da precipitação em forma sólida até a superfície, sem descongelar. Essa condição foi igualmente encontrada por Balicki, Andrade e Hornes (2020).

Das sete observações, quatro delas ocorreram no inverno; as outras três uma a cada estação do ano (primavera, verão e outono). No entanto, vale ressaltar que as maiores quantidades (volume) se deram no outono, enquanto os granizos de maior diâmetro (tamanho) precipitaram no inverno, conforme se observará adiante.

4.3. Temperatura do ar nos períodos em que ocorreram os eventos

Normalmente, devido à insolação, o máximo da temperatura do ar ocorre em torno das 14 horas da tarde em regiões de clima subtropical (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007), como na área de estudo. Após esse horário, em dias com ocorrência de precipitação, nota-se um decréscimo sucessivo, à medida que a cobertura de nuvens aumenta. No caso da ocorrência de granizo, esse processo é mais acelerado.

Na visão de Mota (1983), a temperatura próxima à superfície também pode definir o tamanho e a quantidade de granizo que será precipitado, pois, quanto mais baixa a temperatura, menor é a velocidade do seu derretimento na trajetória até a superfície. Para essa análise, foram transcritas todas as informações coletadas dos sete eventos, conforme observa-se no **Quadro 1**.

Quadro 1: Valores para precipitação, temperatura do ar e do tempo para os eventos analisados

Data	Precipitação total da tempestade (em milímetros)	Tempo total de precipitação da tempestade (minutos)	Variação da temperatura durante a tempestade (°C)	Variação da temperatura durante a precipitação de granizo (°C)
23/04/2018	37 mm	28 min	25°C a 19°C	20°C a 18°C
01/01/2020	38 mm	75 min	34°C a 20°C	21°C a 20°C
30/06/2020	20 mm	52 min	20°C a 15°C	19°C a 15°C
13/07/2020	5 mm	6 min	21°C a 19°C	20°C a 19°C
28/07/2020	1 mm	7 min	19°C a 16°C	18°C a 16°C
17/09/2020	7 mm	14 min	18°C a 16°C	17°C a 16°C
03/12/2020	16 mm	27 min	21°C a 16°C	20°C a 16°C

Fonte: Organizado pelos autores (2022).

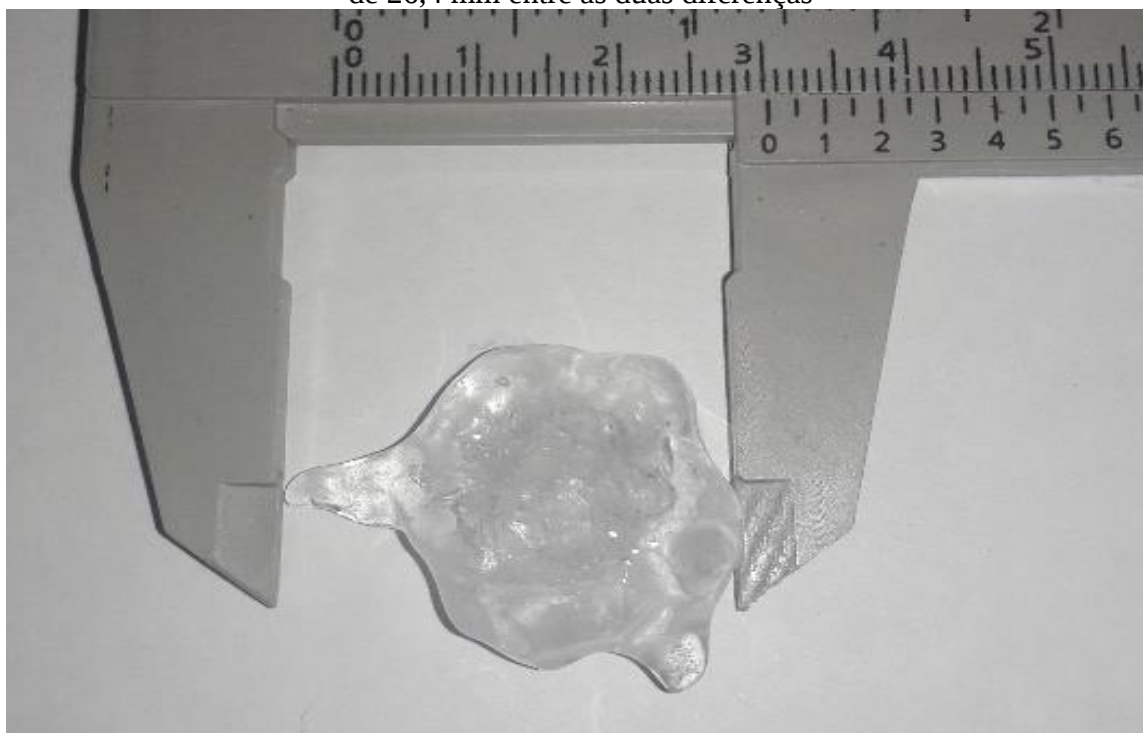
Nota-se no Quadro 1 que todas as variações de temperatura se desenvolveram em decréscimos sucessivos durante as precipitações (chuva + granizo), com maior ênfase nos meses de verão (14°C), sendo observadas ventanias fortes do início da tempestade ao fim da precipitação de granizo. Durante a precipitação de granizo, as amplitudes foram maiores em junho, em julho e no início de dezembro (4°C, 3°C e 4°C, respectivamente), possivelmente devido ao avanço de tempestades frontais. Com base nos dados do Quadro 1, verifica-se que a variação da temperatura nos dias 23/04/18 e 01/01/20 foi maior durante a tempestade e menor durante a precipitação de granizo, indicando claramente uma relação das três variáveis (chuva, granizo e temperatura).

O menor tempo de precipitação de granizo ocorreu em menos de 1 minuto, no dia 28/07/2020, sob baixa pluviosidade (menor que 0,15 mm/min). O mais longo, com duração de cerca de 12 minutos, ocorreu em 23/04/2018, sob alta precipitação (maior que 1,32 mm/min) e com rajadas fortes de vento (pico máximo de 43 km/h). Devido ao curto tempo de derretimento, os granizos foram coletados rapidamente e contados por volume.

O tamanho do granizo está estreitamente relacionado à sua periculosidade. A esse respeito, McNulty (1995) ressalta que eventos com granizos acima de 19,5 mm são oriundos de tempestades severas e são os que mais impactam a população. Neste estudo, essa condição foi encontrada, mesmo que em menor proporção.

O diâmetro máximo livre de granizo ocorreu quando a temperatura do ar estava em 20,8°C (**Figura 5**). Esses resultados se assemelham aos encontrados por Berezuk (2009), com precipitação de granizo entre 19°C e 21°C (ar úmido) e no mês de abril (tamanho máximo de 20 mm). Nesta pesquisa, apenas quatro glóbulos que foram capturados tiveram tamanho maior que 20 mm, porém, a simples presença dessa magnitude já serve de alerta quanto à severidade do evento na localidade.

Figura 5: Maior diâmetro médio de granizo obtido durante a pesquisa (30,3 mm x 22,1 mm), média de 26,4 mm entre as duas diferenças



Fonte: Arquivo pessoal de Marcos Balicki (13/07/2020).

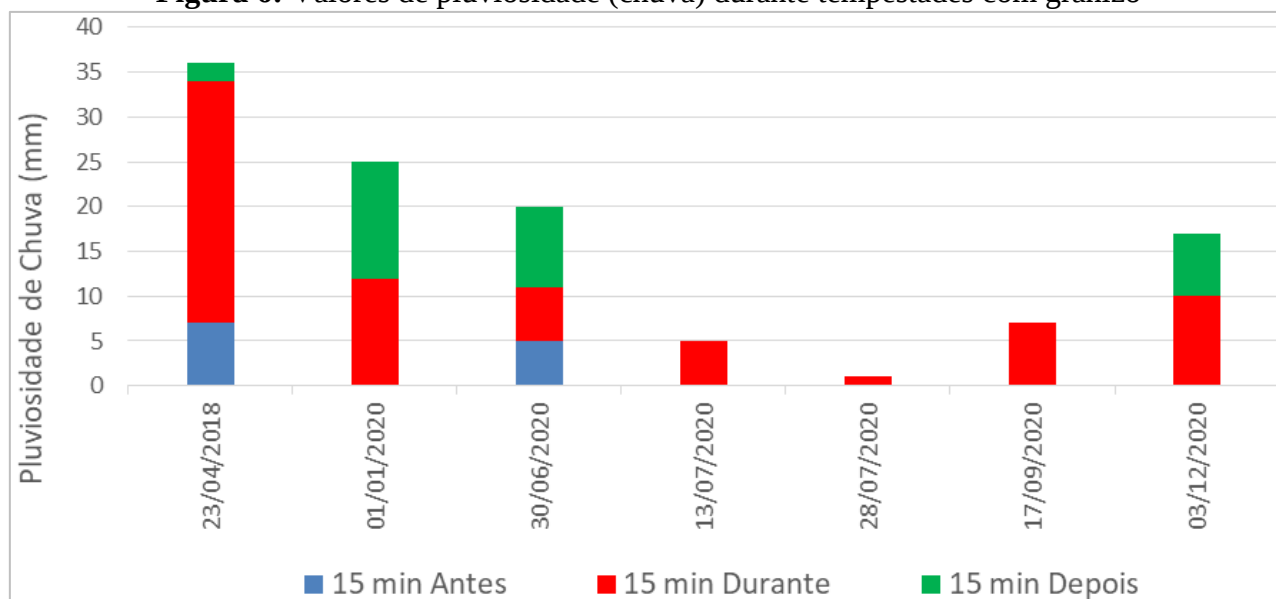
Como é possível observar na **Figura 5**, o maior granizo precipitado tem um formato irregular, associado a um crescimento seco, devido à sua transparência. A velocidade terminal dos granizos também é algo relacionado à sua periculosidade (impacto), sendo associado às correntes descendentes (frias). Granizo maiores e mais rápidos têm um poder destrutivo maior, no entanto, uma quantidade de granizo significativa por m², quando acumulada, pode destruir lavouras, quebrar galhos e ceifar plantações agrícolas, além de promover o caos em áreas urbanizadas.

4.4 Precipitação pluviométrica (intensidade) nos dias dos eventos

Devido à relação da frequência e da intensidade de tempestades de granizo com a variação da temperatura do ar, a ocorrência de precipitação na forma líquida se dá alternadamente com o granizo. Dos sete casos estudados, em cinco deles a granizada ocorreu logo após os primeiros “pingos” de chuva (**Figura 6**).

Conforme demonstra o gráfico da **Figura 6**, apenas nos dias 23/04/2018 e 30/06/2020 houve precipitações nos 15 minutos que antecederam à queda de granizos. Os eventos em que a precipitação de chuva continuou nos 15 minutos após a granizada aconteceram em quatro dias (23/04/2018, 01/01/2020, 30/06/2020 e 03/12/2020), configurando-se a maior parte dos casos.

Figura 6: Valores de pluviosidade (chuva) durante tempestades com granizo



Fonte: Os autores (2021).

A relação causa-efeito entre granizo e amplitude térmica com o volume de chuva pôde ser verificada, pois, nos eventos de 23/04/2018 e 17/09/2020, houve uma intensa precipitação associada a quedas de maior quantidade de granizos (tanto em volume quanto em quantidade de grânulos. Dessa forma, ao se avaliar o acompanhamento da precipitação líquida nos eventos de granizo, constatou-se que, nos períodos de inverno e primavera, os valores são baixos e com pouca intensidade, mas o diâmetro da maioria dos granizos é maior que 10 mm. Já em eventos de verão e outono, a precipitação de chuva foi maior e por períodos mais longos, porém, acompanhada de granizos geralmente menores.

4.5. Tipos de tempestades de granizo

No dia 23/04/2018, não foi possível obter a imagem de radar, pois o equipamento apresentava problemas técnicos (travado); todavia, foi feita uma avaliação pela observação *in loco*. Nesse dia, ocorreram tempestades isoladas, totalizando cinco desse padrão e duas de grupos organizados.

Com base no padrão de cores fornecido pelas legendas nas imagens de Radar do SIMEPAR (**Figura 7**), nota-se que todas as tempestades apresentaram intensidade na cor vermelha (forte), indicando eventos severos e de alta concentração de precipitação, além de causar vendavais, raios e o granizo, propriamente dito.

A análise das imagens de Radar demonstra que essa é uma boa metodologia para antecipar a “possibilidade real” da ocorrência de tempestades com granizo, principalmente por ser possível visualizar a direção, o formato, o tempo de formação e, com base nisso, determinar os níveis de riscos para impactos potencialmente destrutivos poucos minutos antes do acontecimento.

Com o intuito de abstrair mais informações para se estimar o nível de periculosidade desses eventos, buscou-se classificar algumas características dos granizos precipitados, a saber: diâmetro, formato e transparência. Esses elementos estão descritos no **Quadro 2**.

As informações referentes ao tamanho (diâmetro) indicam que aproximadamente 80% dos granizos têm 0-5 mm, 18% 6-10 mm, 1,6%, 11-20 mm e apenas 0,4% é maior que 20 mm. Assim, verifica-se que os granizos que mais afetam a estrutura social e econômica felizmente ocorreram em menor proporção, neste período. Outra constatação é de que aproximadamente 90% foram de tipo esféricos/ovais e 93% opacos (de crescimento úmido). No entanto, o maior granizo tinha formato irregular e transparente (crescimento seco), conforme a **Figura 5**.

Figura 7: Identificação do tipo de tempestade



Fonte: Os autores (2021). Imagens cedidas pelo SIMEPAR.

Quadro 2: Características físicas finais dos granizos precipitados

Evento:	Diâmetro máximo dos granizos (mm):					Características gerais:	
Data:	0-5	5-10	10-20	20-50	+ 50	Formato	Transparência
23/04/2018	1600*	500*	37	3	0	Esféricos/ovais	Opacos
01/01/2020	18	0	0	0	0	Esféricos/ovais	Opacos
30/06/2020	88	0	0	0	0	Esféricos/ovais	Transparentes
13/07/2020	103	16	1	1	0	Irregular	Transparentes
28/07/2020	22	4	4	0	0	Irregular	Opacos
17/09/2020	522	10	0	0	0	Esféricos/ovais	Opacos
03/12/2020	59	9	0	0	0	Irregular	Opacos
Total:	2412*	539*	42	4	0		

(*) Valores estimados por cálculos de área e volume, devido à alta quantidade de grânulos.

Fonte: Organizado pelos autores (2021).

Com base nas informações dos **Quadros 1 e 2**, compreende-se que a temperatura ideal para o tamanho dos glóbulos precipitarem na superfície ocorre entre 15°C e 21°C, com ponto “ótimo” em 20°C. É possível inferir que dificilmente ocorrerão a formação de *Cbs* com temperatura ambiente menor que 15°C e que atinjam o estágio de produzir granizos. Percebe-se que, em temperaturas do ar superiores a 22°C, dificulta-se a formação ou impossibilita-se a ocorrência de precipitação de granizos menores. Isso se deve ao fato de que o ponto de congelamento ocorre em altitudes mais elevadas ou os granizos acabam derretendo na trajetória descendente, nas camadas próximas à superfície. Entretanto, esse processo é facilitado se for associado a *Downburst*⁴ e/ou à precipitação pluviométrica mais constante e intensa durante a granizada, como ocorreu em 23/04/2018.

Ademais, no evento de 30/06/2020, ocorreu um processo que também chamou a atenção, pois foi associado à ocorrência de “raro” Ciclone Bomba⁵. Esse sistema atuou promovendo muita

⁴ Disponível em: <https://www.weather.gov/lmk/downburst>. Acesso em: 15 fev. 2022.

⁵ A Ciclogênese explosiva, ou ciclone do tipo “bomba”, caracteriza-se quando há um rápido aprofundamento (intensificação) de um centro de baixa pressão associado a um ciclone com características extratropicais. Normalmente,

chuva e ventos fortes, causando estragos em telhados e principalmente derrubando árvores na área urbana do município de estudo, conforme demonstra na **Figura 8**.

Figura 8: Impactos do “ciclone bomba” derrubando árvores de grande porte na área urbana de Laranjeiras do Sul (PR)



Fonte: Minotto (2020).

Também devemos citar que dos sete casos analisados, em cinco deles foi observada a presença de nuvens *Pileus* anteriormente aos eventos de granizo (do meio-dia para a meia-tarde), podendo-se deduzir uma possível relação entre os processos (nuvens *Pileus* x granizo). Todavia, à noite, com o céu totalmente encoberto, é difícil a sua observação.

Outro fator observado empiricamente, diz respeito à elevada quantidade de raios nuvem-chão durante os eventos. Durante a observação empírica, foi possível identificar uma quantidade expressiva de “*flashes*”, com um deles provocando um estrondo sônico⁶, no dia 13/07/2020. Esses eventos são potencialmente perigosos, pois preferem locais mais altos e/ou abertos, proporcionando riscos diversos, inclusive para a coleta de dados sobre a evolução da precipitação com granizo. Para que a confirmação desse processo seja eficaz e segura, recomenda-se a utilização de sistemas automáticos de captura. Rajadas de vento superiores a 20 km/h também ocorreram em cinco dos sete casos. As correntes frias descendentes favorecem o tamanho e a quantidade, além de potencializarem os estragos acometidos por esses tipos de catástrofes.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo permitem evidenciar algumas afirmações concretas e que podem definir um padrão específico para a ocorrência de tempestades de granizo na região específica do Centro-Sul do Paraná.

O horário entre às 15 e às 18 horas se mostrou preferencial para tempestades com granizo na região de Laranjeiras do Sul (PR). Nesse horário, há a maior ocorrência de descargas elétricas intermitentes, normalmente sobre intensos vendavais (*Downburst*), relacionadas ao estágio de desenvolvimento das *Cumulonimbo*.

essa medida de intensificação é caracterizada por uma queda na pressão de 1 mb/hora em um período de 24 horas (CPTEC/INPE, 2020).

⁶ O ar aquecido pelo raio se expande e essa expansão gera uma onda de choque supersônica em poucas centenas de metros e, em distâncias maiores, gera uma onda sonora intensa que se afasta do canal em todas as direções. Essas ondas são os trovões (INPE/ELAT, 2020).

Com relação ao tamanho dos granizos, o inverno foi a estação do ano em destaque. No tocante à quantidade, o verão, o final da primavera e o início do outono foram os períodos com mais granizos.

A precipitação pluviométrica também se mostrou presente em todos os casos analisados, mas a sua ocorrência se tornou dispensável, haja vista que as quantidades foram variadas, e quase nulas em 28/07/2020 (granizo seco). O tamanho dos granizos se mostrou inversamente proporcional à quantidade de chuva líquida, observando-se glóbulos menores com maior pluviometria e vice-versa. Notou-se também que tais grânulos precipitaram geralmente nos primeiros 15 minutos junto ao início do temporal.

Pelos dados apresentados, é possível afirmar que as tempestades com chuva intensa e vendavais, principalmente na primavera e no verão, provocam granizos ovais, opacos, menores, mas em maior volume de grânulos, provenientes de crescimento úmido. Já no outono e no inverno, os granizos foram maiores, irregulares, transparentes, em menor quantidade e sob baixa precipitação, proveniente de crescimento seco. Notou-se empiricamente que, em geral, além da presença de *Cbs*, quanto mais alta a temperatura próxima à superfície e mais baixas aparecerem as nuvens *Pileus*, maiores são as chances de precipitações de granizos.

No quesito temperatura, a baixa quantidade de eventos estudados (apenas em sete tempestades) não permitiu uma evidência clara entre a amplitude térmica e o tamanho dos granizos a precipitar. Em vista disso, são necessárias pesquisas futuras com transecto móvel para a captura massiva de dados em quantidade de tempestades com granizo, para melhor assertividade dos dados.

Dos cinco fatores locais relacionados à precipitação de granizo, o mais eficaz para prever a ocorrência de tempestades com granizo foi o tipo de tempestade (isolada ou organizada) sobre a área a ser precipitada, pois as imagens de radar permitem uma análise da estrutura (cores) e da direção das nuvens em tempo real. Esse processo foi o melhor indicativo e, inclusive, o método de antecipação mais assertivo, exceto para o dia 13/07/2020, pois as tempestades explosivas têm sistemas capazes de gerar granizos em grande quantidade e tamanho em curtíssimos espaços de tempo, talvez menores que o da leitura e envio das imagens de radar (10 minutos).

Embora a análise das imagens de radar contribua para identificar a ocorrência de tempestades, é preciso que se desenvolvam mais estudos sobre o fenômeno para melhorar os sistemas de previsões, bem como alertar a população em geral. Trabalhos com maiores números de observações e por períodos mais longos (por exemplo, 30 a 35 anos) poderiam dar melhores indícios de regularidade e de caracterização quanto às precipitações de granizos. Pesquisas relacionadas entre os casos de granizo e El Niño/La Niña (ENOS), e/ou mudança na atuação de Jatos de Altos Níveis (JAN) em toda a região Centro-Sul da América do Sul, também são necessárias para compreender tais fenômenos como um todo, no espaço e no tempo.

REFERÊNCIAS

AMS. American Meteorological Society. Meteorology Glossary. **AMS**, 6 de outubro de 2012. Disponível em: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Hailstone>. Acesso em: 26 maio 2020.

BALICKI, M.; ANDRADE, A. R. de; HORNES, K. L. Gênese e impacto de tempestades severas no estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.I.], v. 26, n. 16, p. 479-498, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/71335/40622>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BARRY, R.; CHORLEY, R. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre, 2013. 512 p.

BENTO, D. F. **Análise da queda de granizo em Guarulhos-SP e seus impactos socioeconômicos**. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

BEREZUK, A. G. Eventos Extremos: Estudo da Chuva de Granizo de 21 de abril de 2008 na Cidade de Maringá-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.I.], v. 5, p. 153-164, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50483/31577>. Acesso em: 29 mar. 2021.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W. de.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1236.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

BROWNING, K. A. The structure and mechanism of hailstorms. **Amer. Met. Soc.**, [S.I.], n. 38, p. 1-39. 1977. Disponível em: <http://www.sciepub.com/reference/14689>. Acesso em: 29 mar. 2021.

BUENO, P. Como se forma o Granizo? **Tempo.com**, 18 de outubro de 2019. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/como-se-forma-o-granizo.html>. Acesso em: 20 mar. 2022.

CALDANA, N. F. da S. *et al.* Gênese, Impacto e a Variabilidade das Precipitações de Granizo na Mesorregião Centro-Sul Paranaense, Brasil. **Caderno de Geografia**, [S.I.], v. 29, n. 56, p. 61-80, 2019. Disponível em: <http://seer.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/19070/14378>. Acesso em: 29 mar. 2021.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil, estudos de riscos e medicina de desastres**. 2. ed. Brasília: Indesp, 1998.

CEPED/UFSC. Centro Universitário sobre Estudos e Pesquisas sobre Desastres/Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais**: 1991 a 2012. Volume Paraná. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013.

COSTA, M. N. de M. **Episódio de tempo severo em Brasília-DF**: importância de fatores locais no desenvolvimento de convecção profunda. 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Esclarecimentos sobre ciclone bomba. **CPTEC/INPE**, 14 de setembro de 2020. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/130855>. Acesso em: 2 fev. 2021.

DEFESA CIVIL. Dados por municípios. **Defesa Civil**, [2020]. Disponível em: <http://www.defesacivil.pr.gov.br/Pagina/GEODC-Publico#>. Acesso em: 23 abr. 2021.

DENNIS, A. S, SCHOCK C. A. Characteristics of hailstorms of western South Dakota. **Journal of Applied Meteorology**, [S.I.], v. 9, p. 126-135, 1970. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/9/1/1520-0450_1970_009_0127cohows20co2.xml. Acesso em: 23 abr. 2021.

FELIX, R. R. **Análise das ocorrências de granizo na região sul do país e estudo de viabilidade para implementação de sistemas anti-granizo em áreas afetadas**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

FLIGHT briefing notes: adverse weather operations optimum use of weather radar. **Sky Brary**, 2007. Disponível em: <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/163.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2021.

FREDIANI, M. E. B. **Tempestades Severas**. São Paulo: EDUSP, 2003.

FUNDAÇÃO ABC. Radar Simepar. **Fundação ABC**, 30 de setembro de 2021. Disponível em: http://sma.fundacaoabc.org/monitoramento/precipitacao_por_radar/radar_simepar. Acesso em: 20 mar. 2022.

IAPAR. Instituto Ambiental do Paraná. Atlas Climático. **IAPAR**, 2019, Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 23 abr. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Paraná: População. Censo de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>. Acesso em: 30 mai. 2019.

IHADUA, M. T. J. I. **Análise microfísica de sistemas precipitantes no leste de São Paulo por meio de radares meteorológicos polarimétricos**. 2021. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

INPE/ELAT. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Grupo de Eletricidade Atmosférica. Ondas Acústicas. **INPE/ELAT**, 2020. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/ondas.acusticas.php>. Acesso em: 3 dez. 2020.

INPE/ELAT. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/ Grupo de Eletricidade Atmosférica. Tipos de tempestades. **INPE/ELAT**, 2021. Disponível em: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/tempestades/tipos.php> Acesso em: 3 fev. 2021.

LOPES, C. da C. **Microfísica, cinemática e eletrificação em tempestades tropicais que geraram granizo durante o projeto SOS-CHUVA**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas da USP) - Universidade de São Paulo, Campinas, 2019.

LOBO, P. R. V. **Meteorologia e oceanografia para usuário navegante**. Rio de Janeiro: LCT, 2019. – (Vol. 1).

MCNULTY, R. P. Severe and convective weather: A central region forecasting challenge. **Weather and Forecasting**, [S.I.], v. 10, p. 187-202, 1995. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/wefo-overview.xml>. Acesso em: 20 mar. 2022.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINOTTO, C. Laranjeiras do Sul: Rajadas de ventos chegaram a 118 km/h diz Simepar. **Olho Aberto Paraná**, 30 de junho de 2020. Disponível em: <https://olhoabertopr.blogspot.com/2020/06/laranjeiras-do-sulrajadas-de-ventos.html>. Acesso em: 20 mar. 2022.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983.

OMOTO, Y. Characteristics of hailstorms in Japan. **Journal of Agricultural Meteorology**, [S.I.], v. 23, n. 3, p. 115-121, 1967. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/agricultural-and-forest-meteorology>. Acesso em: 20 mar. 2022.

PUNGE, H.J; KUNZ, M. Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: a review. **Atmos. Res.**, [S.I.], v. 177, n. 176, p. 159–184, 2016. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016AtmRe.176..159P/abstract>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SILVA, G. M.F. da; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S. O jornal como fonte de informação sobre precipitações de granizo no Estado do Paraná. **Revista GEONORTE**, [S.I.], v. 1, n. 5, p. 1079-1090, 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2465>. Acesso em: 20 mar. 2022.

TSAY, G. S. **Composição microbiológica cultivável do granizo de uma tempestade no sudoeste do Paraná**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

VESTENA, L. R. **Desnaturalização dos desastres**: em busca de comunidades resilientes. Curitiba: Editora CRV, 2017. 116 p.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.