

# PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE GRANIZO NO INTERIOR DE NUVENS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO POR RADAR METEOROLÓGICO

*Bruna Cavalcanti Gautério<sup>1</sup>*

*Jean Marcel de Almeida Espinoza<sup>2</sup>*

*Francisco Eliseu Aquino<sup>3</sup>*

## RESUMO

Os eventos destrutivos de granizo associados aos fortes ventos e aos elevados índices pluviométricos desencadeiam danos materiais, humanos, econômicos e ambientais ao longo do globo terrestre. A mudança do clima tende a intensificar esses episódios e em cenários futuros as granizadas serão cada vez mais destrutivas e conseqüentemente mais danosas às populações mais vulneráveis e à infraestrutura local. Diante disso, buscou-se identificar os grãos de granizo no interior de nuvens através do Sensoriamento Remoto ativo por radar meteorológico. Elaborou-se um estudo de caso, para o ano de 2015 no município do Rio Grande/RS, com a coleta de valores de acumulados de granizo, em quilo-grama por metro quadrado, dispostos em *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR) do satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM). Conjuntamente com documentos oficiais que comprovaram a queda do granizo em solo para o respectivo ano. Aplicou-se a densidade de kernel para compreender a espacialização do fenômeno nos limites do Rio Grande. Concluiu-se que a cobertura do produto em pixels é superficial para analisar pontualmente o acúmulo de granizo para a área do município. As maiores concentrações de acúmulo de granizo foram identificadas no extremo norte do município, correlacionado com a transição orográfica de ventos oriundos da serra de Camaquã/Pelotas e o aporte de umidade e calor do canal São Gonçalo e seus baixos.

**Palavras-Chave:** Desastres; Geotecnologias; TRMM; GPM; Dano.

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A previsão e a detecção dos episódios de precipitação sólida na forma de granizo são fundamentais para a organização das ações humanas no cotidiano. Os eventos destrutivos são responsáveis por gerarem danos<sup>1</sup> e perdas significativas com relação à

---

<sup>1</sup> Graduada e mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande e doutoranda junto ao programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>2</sup> Professor de Física no Instituto Federal de Santa Catarina e doutor em Sensoriamento Remoto pelo Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

<sup>1</sup> Segundo Castro (2015, p.3), no Manual de Planejamento em Defesa Civil, do Ministério da Integração Nacional e Secretaria de Defesa Civil, dano é “uma medida que define a intensidade ou a severidade da lesão resultante de um evento adverso ou acidente. Perda humana, material ou ambiental, física ou funcional, que pode resultar, caso seja perdido o controle sobre o risco. Intensidade das perdas humanas, materiais e ambientais, induzidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um evento adverso”.

proteção à vida humana e à propriedade pública e/ou privada. Eles também podem desencadear intensos impactos econômicos ao devastar cultivos agrícolas e ao causar prejuízos em rotas de escoamento das produções.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas (CEPED) (2013a), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o Brasil entre as décadas de 1990 e 2000 apresentou um aumento de ocorrências e registros de desastres. Consequentemente, os danos associados são diversos, porém destaca-se que 4,20% da população, na época, era afetada diretamente por granizo e 7,07% era afetada por vendavais. Esses dois fatores associados causam danos materiais por vezes irreversíveis como, por exemplo, aborda CEPED (2013a), em que os fortes ventos associados às pedras de gelo esféricas podem destruir totalmente cultivos agrícolas e desencadear perdas econômicas significativas ao produtor rural.

A região Sul do Brasil é historicamente marcada pela ocorrência, frequência e variedade de desastres devido à sua localização geográfica e também aos fatores e elementos climáticos que caracterizam o local (CEPED, 2013a). Em suma, a Unidade Federativa (UF) do Rio Grande do Sul (RS) é um dos três estados do Sul do país, junto de Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), o qual sofre anualmente com a ação direta de eventos de granizo. O Atlas Digital de Desastres Naturais do Brasil, do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD (2024), mostra que o RS no período de 2013 a 2024, já contabilizou 408 ocorrências de granizo afetando mais de 1 milhão e 22 mil pessoas, deixando mais de 56 mil desabrigados e desalojados e também gerando seis óbitos. Adicionalmente, compreendendo os anos que se antecedem até 1995, contabilizou-se um prejuízo econômico ao estado e seus habitantes de mais de dois bilhões de reais.

De forma geral, o granizo é um grão de gelo irregular que se forma no interior de nuvens de tempestades através de correntes de convecção que constituem-se como gotículas de água líquida em ascensão e/ou de cristais de gelo e suas subsidências. O tamanho do grão dependerá do tamanho vertical da nuvem e do tempo de recorrência que as correntes de convecção ficarão crescendo esse gelo irregular (Figura 1). Os episódios de granizo mais intensos (destrutivos) acontecem quando há a troca do gradiente de térmico na atmosfera, compreendendo então, o período de transição de estações do ano quentes para estações mais frias como, por exemplo, no Brasil as

tempestades de granizo são mais frequentes na primavera e no inverno (Varejão-Silva, 2005).

De acordo com o CEPED (2013b), o grau de dano causado independentemente do setor que será atingido dependerá basicamente do tamanho das pedras de gelo, da densidade da área, bem como sua ocupação local, da duração do temporal, da velocidade de queda e das características dos elementos atingidos em solo. Sendo a densidade inferior a dez pedras por  $0,10 \text{ m}^2$ , geralmente, não ocorrem danos significativos. Salienta-se que os eventos de granizo não ocorrem de maneira isolada, então diante disso, as precipitações de chuvas intensas e a ocorrência de ventos fortes junto ao granizo aumentam os danos. No RS, os danos materiais são mais frequentes em habitações, ocasionando destruição de telhados, há também danos em infraestruturas e nas instalações de saúde e de ensino. Os danos aos cultivos estão associados à ação mecânica dos granizos nas plantas e aos ventos fortes, sendo o maior problema para as culturas as pedras em formatos esféricos.

**Figura 1:** esquema de formação do granizo no interior da nuvem



**Fonte:** ELAT/INPE, 2023.

Os episódios de granizo são difíceis de serem registrados e quantificados devido ao curto tempo de duração e ao complexo armazenamento do grão de gelo em estações meteorológicas. No Brasil, são escassos os métodos para quantificar esses eventos, pois é necessário, geralmente, que haja disponibilidade humana *in loco* no momento da

ocorrência do fenômeno. Dentre os métodos que existem no país, destaca-se o abordado por Galdino (2015), o qual compreende o projeto de pesquisa denominado “Detecção, monitoramento e análise do desenvolvimento de tempestades severas associadas à ocorrência de granizo na região Sul do Brasil”, coordenado pelo pesquisador Jorge Alberto Martins.

No projeto destacado, através de uma rede de observação, são verificados o tamanho e a distribuição das pedras de granizo que colidem em uma placa de poliestireno expandido (isopor) coberta por uma lâmina de papel-alumínio de alta densidade. Adicionalmente, destaca-se os sensores de sensibilidade sonora propostos por Alves e Moraes (2018), os quais juntamente com a rede de observação mencionada anteriormente, são acoplados medidores automatizados utilizando microfones e sensores de chuva para compreender a variação da intensidade sonora das pedras. Os autores Alves e Moraes (2018, p.18) relatam que o “princípio envolvido vem da percepção que o próprio ouvido humano tem ao identificar a queda de granizo em telhas e telhados durante as tempestades”, sendo assim um indicador passível de detecção através do espectro sonoro.

Diante da dificuldade enfrentada na detecção e quantificação em solo, o uso de produtos do Sensoriamento Remoto torna-se ferramentas auxiliares na previsão e detecção do granizo, em nuvem, com o intuito de amenizar os efeitos sobre a sociedade. A tendência é que episódios que já são considerados destrutivos ocorram com mais intensidade devido às mudanças do clima da Terra, como aponta o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2023). Então, visando remediar cenários semelhantes que possam ocorrer futuramente, o apoio tecnológico das imagens de radar meteorológico é crucial, pois as ondas eletromagnéticas de rádio conseguem captar a reflectância do que constitui a nuvem em seu interior e sua temperatura e demais fenômenos meteorológicos associados às tempestades de granizo como, por exemplo, as elevadas taxas de precipitações e os fortes ventos.

Para a realização dessa pesquisa objetivou-se um estudo de caso, para o ano de 2015 no município do Rio Grande/RS, que buscou identificar os grãos de granizo no interior de nuvens através do Sensoriamento Remoto ativo por radar meteorológico. E como forma de compreensão da relação granizo-nuvem e granizo que atingiu o solo, têm-se os documentos oficiais emitidos pelo Sistema Nacional de Desastres Naturais e/ou



noticiários de jornais locais como forma de registro oficial dos danos ocasionados à população.

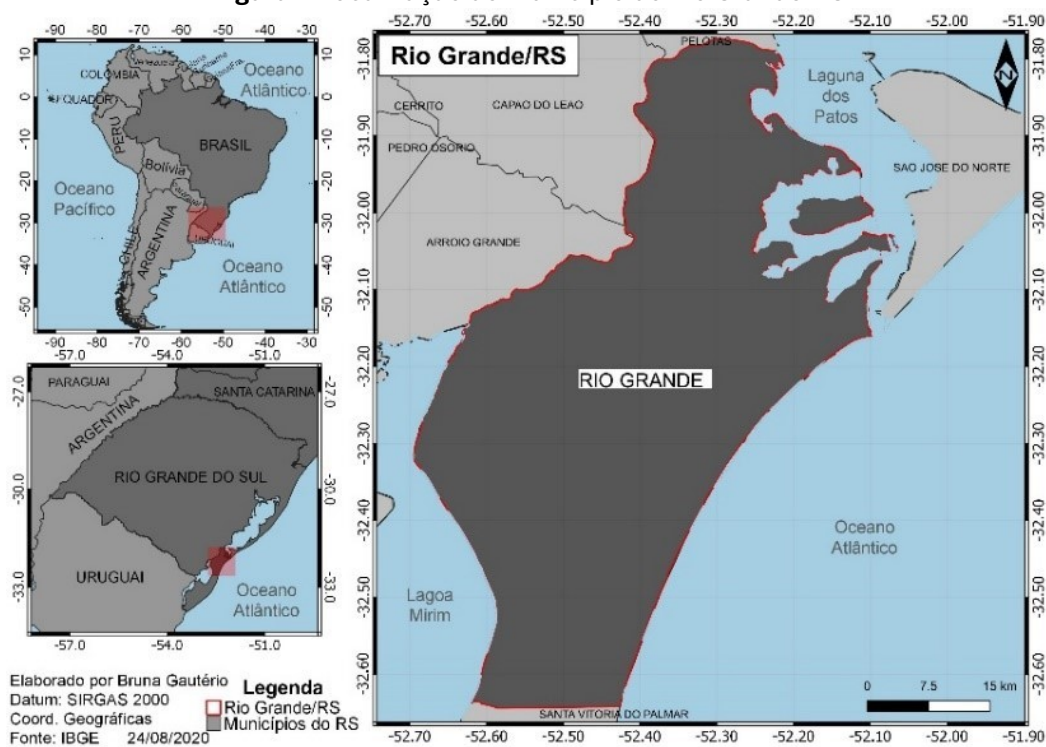
Atualmente, as pesquisas relacionadas aos granizos associam imagens do Satélite Ambiental Operacional Geoestacionário (GOES) para analisar os fenômenos meteorológicos, porém o uso dessas imagens é limitado a características de temperatura da nuvem, distribuição de vapor d'água e identificação de sistemas meteorológicos significativos. Sendo assim insustentável para a quantificação e detecção de granizo em nuvem. Diante do objetivo exposto, visando quantificar e detectar os grãos de gelo, utilizou-se imagens de radar do sensor orbital *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR), as quais possibilitam estimar a taxa de precipitação e distinguir diferentes tipos de partículas, como, chuva, neve e granizo.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

Rio Grande é um dos 5.570 municípios brasileiros e está localizado na região Sul, mais precisamente ao sul da UF do Rio Grande do Sul (Figura 2). Sua área territorial é de 2.682,867 km<sup>2</sup> dividida em zonas urbanas e rurais. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no censo de 2022 havia 191.200 pessoas tendo uma densidade demográfica de 71,53 habitantes/km<sup>2</sup>.

O município é caracterizado com um clima subtropical úmido (Strahler, 1969), com uma precipitação predominantemente de origem frontal (Krusche, Saraiva e Rebita, 2002) e conta com a frequente passagens de sistemas frontais que podem desencadear formação de tempestades com a presença de granizo. A atuação de bloqueios atmosféricos e frentes frias também podem propiciar o aumento pluviométrico. A ação dos episódios de granizadas tende a ser suavizada pelo fato de o Rio Grande estar no litoral, banhado pelo Oceano Atlântico, e às margens da Laguna dos Patos e da Lagoa Mirim, sofrendo com o efeito da maritimidade.

Figura 2: localização do município do Rio Grande/RS



Fonte: Gautério, 2020.

O mês de setembro de 2015, em Rio Grande, foi marcado pela ação de um evento de granizo destrutivo reconhecido pelo Sistema Nacional de Defesa Civil como uma situação de emergência<sup>2</sup> (Quadro 1). Os efeitos conjuntos da alta pluviosidade e dos fortes ventos corroboram para o cenário emergencial, os quais podem ser entendidos de forma mais completa no trabalho publicado por Gautério e Maier (2021). A escolha do ano em específico se deu pelo quantitativo de pessoas atingidas, pela magnitude do evento que se estendeu em dias posteriores e com recorrência de granizo no dia 23/09/2015 e por ter sido um evento cautelosamente acompanhado e registrado pelos órgãos municipais (Figura 3).

Os noticiários locais também registraram outros eventos de queda de granizo ao longo do ano de 2015. O jornal online GZH (2015), relatou que chuvas, granizos e ventos fortes espalharam estragos pelo RS no dia 16/09/2015 e Rio Grande foi um dos municípios atingidos. O telejornal RBS TV, afiliada da emissora Globo no RS, relatou no

<sup>2</sup> situação anormal provocada por desastre que causa danos e prejuízos que impliquem o comprometimento parcial da capacidade de resposta do Poder Público do ente federativo atingido ou que demande a adoção de medidas administrativas excepcionais para resposta e recuperação (Brasil, 2020).

jornal ao vivo, em 2015, no dia 05/06 que o corpo de bombeiros municipal havia confirmado a queda de granizo em Rio Grande com duração aproximada de 10 minutos.

**Quadro 1:** resumo das informações dos relatórios sobre o reconhecimento federal realizado e dos danos informados

|                             |                                                                                                                                          |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Desastre</b>             | Tempestade local/convectiva - Granizo                                                                                                    |
| <b>Situação</b>             | Situação de Emergência                                                                                                                   |
| <b>Data de Ocorrência</b>   | 21/09/2015                                                                                                                               |
| <b>Data do Decreto</b>      | 23/09/2015                                                                                                                               |
| <b>Danos Humanos</b>        | 98 desabrigados<br>60 desalojados<br>60.000 afetados                                                                                     |
| <b>Danos Materiais</b>      | 6.500 unidades habitacionais danificadas<br>5 instalações públicas de saúde danificadas<br>40 instalações públicas de ensino danificadas |
| <b>Prejuízos Econômicos</b> | R\$ 10.240,000 na agricultura<br>R\$ 1.500,000 na pecuária<br>R\$ 40.000,000 em unidades habitacionais                                   |

**Fonte:** S2iD, 2015.

**Figura 3:** Exemplos dos danos causados no município do Rio Grande em setembro de 2015.



**Fonte:** Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Rio Grande, 2015

À esquerda (imagem A) da figura 3, a perfuração em parte de um telhado de uma escola da rede municipal e à direita (imagem B) algumas residências da área urbana cobertas temporariamente com lonas para proteção.

Apesar dos registros das quedas de granizo em diferentes períodos do mesmo ano (2015), elas não foram expressivas a fim de serem registradas como situação de emergência ou de estado de calamidade pública<sup>3</sup>, não sendo então reconhecidas em

<sup>3</sup> situação anormal provocada por desastre que causa danos e prejuízos que impliquem o comprometimento substancial da capacidade de resposta do Poder Público do ente federativo atingido ou

escala nacional, apenas de forma local. Os registros em solo através das fontes mencionadas e dos apontamentos também identificados pela Defesa Civil local, contribuíram e embasaram a proposta metodológica de identificação e quantificação desse granizo ainda em nuvem. A proposta de identificação de granizo no interior da nuvem, visa proporcionar ferramentas mais eficazes na previsão da ocorrência do fenômeno em solo.

### **3. METODOLOGIA**

A fim de elucidar os caminhos traçados para atingir os objetivos propostos, esse tópico será dividido em material e métodos. A subdivisão proporcionará de forma esmiuçada quais foram os aparatos e fontes consultadas e utilizadas para o processamento dos dados e também quais métodos foram abordados para contemplar os resultados que serão apresentados em tópico posterior.

#### **3.1 Material**

Para esse trabalho, os dados adquiridos consistiram em um cenário teste para o ano de 2015, coletados com o total de precipitação acumulada mês a mês (janeiro a dezembro), para o município do Rio Grande/RS – área de estudo. O ano em questão foi marcado por episódios de granizos ao longo, principalmente, da estação primavera, a de maior recorrência dos eventos. Para escolher a janela temporal, foi necessário ter a certeza que havia precipitado granizo em solo, para então compreender a identificação do granizo no interior da nuvem.

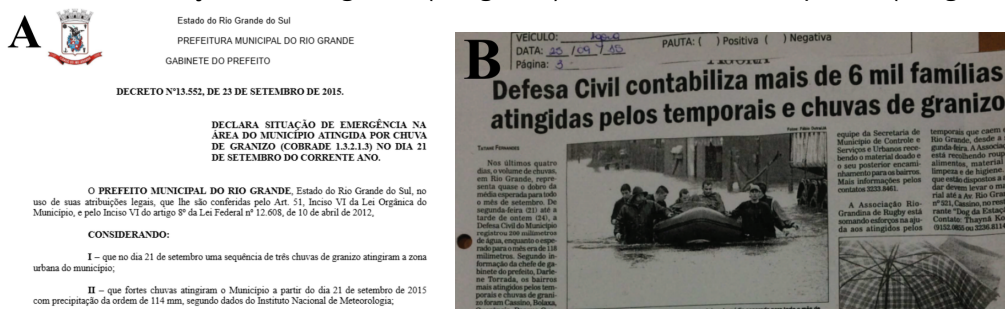
O principal material utilizado o qual confirma a queda dos granizos para o ano de 2015 foi o decreto 13.552/2015, emitido pelo S2iD através de seu relatório digital. O evento então, ao ser mencionado em um decreto federal como causador de danos aos munícipes, confirma a ocorrência dele em solo. Outros documentos também comprovaram que houve o evento no ano em questão como, por exemplo, os relatórios emitidos pela Defesa Civil municipal e os noticiários locais (Figura 4) e regionais que além de corroborar com o caso, mostram através de imagens e vídeos os danos causados aos moradores e à infraestrutura municipal.

---

que demande a adoção de medidas administrativas excepcionais para resposta e recuperação (Brasil, 2020).



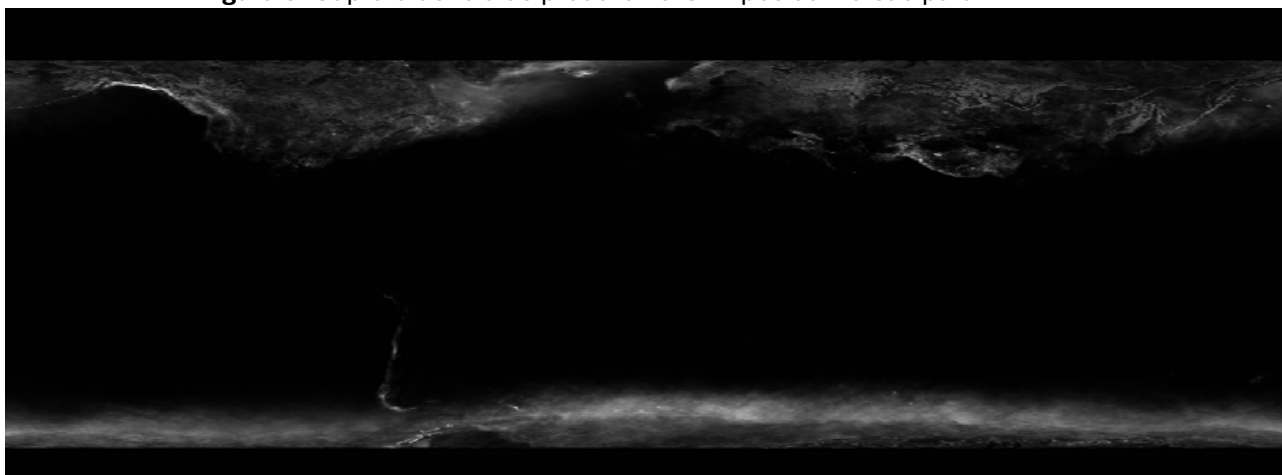
**Figura 4:** exemplos de documentos utilizados para elucidar a queda de granizo em solo em 2015 (Decreto de situação de emergência (imagem A) e noticiário local impresso (imagem B))



**Fonte:** Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Rio Grande, 2015.

Diante disso, elaborou-se um teste inicial que contemplasse todos os doze meses. Foram coletados produtos de estimativa de precipitação sólida, gerados pelos produtos do radar meteorológico de acesso público, captados pelo sensor radar orbital *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR) presente na constelação de satélites *Global Precipitation Measurement* (GPM) que compõe o projeto TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), mantido em colaboração pelas instituições NASA-JAXA, CNES/ISRO, AEB/INPE, EUMETSAT e NOAA. Com isso, foram obtidos arquivos contínuos de estimativas de precipitação, produto GPM\_3IMERGDE (GPM IMERG *Early Precipitation*, nível L3, acumulado para 1 dia e resolução espacial de  $0,1 \times 0,1^\circ$ ), cobrindo a área do município do Rio Grande e entorno, com o intervalo de 1 ano (2015).

Esses produtos foram obtidos em formato multidimensional netCDF (Figura 5), contendo camadas de distribuição espacial (Lat x Lon) e camadas temporais (camada representando um dia do período selecionado). Esses arquivos compuseram o banco de dados inicial para futuras conversões de tipos de arquivos, como o uso do *software* SEADAS, e futuros tratamentos em Sistema de Informações Geográficas (SIG) com o uso do QGIS. Ambos os programas são livres e permitem que os usuários possam manipular os dados sem custo algum, apenas utilizando de uma rede de internet para download.

**Figura 5:** Captura de tela do produto netCDF pós conversão para .tiff**Fonte:** TRMM, 2015.

### 3.2 Métodos

A partir do diagnóstico dos documentos comprobatórios de queda de granizo, o banco de dados foi estruturado e manipulado com os produtos de estimativa de precipitação sólida, obtidos no formato binário netCDF. Com o propósito de manipular em ambiente SIG, os arquivos passaram pelo processo de conversão para .tiff no programa SEADAS. A partir disso, no programa QGIS puderam ser observados os valores pictóricos, os quais representaram os valores de precipitação sólida acumulada no dia, ao longo do espaço de um pixel ( $\sim 11,1 \times 11,1$  km), apresentados em quilograma por metro quadrado ( $\text{kg.m}^{-2}$ ).

Os sensores a bordo de satélites usados para medir a presença de granizo geralmente empregam tecnologias de radar ativo (Liu et al, 2023). Esses sensores emitem pulsos de micro-ondas em direção à atmosfera e, em seguida, medem a quantidade de energia refletida de volta para o sensor. Quando os pulsos de micro-ondas encontram partículas de granizo, a energia é refletida de maneira diferente em comparação com outras formas de precipitação, como chuva ou neve (Liu et al, 2023).

A partir dessas diferenças nas características de reflexão dos pulsos de radar, se pode identificar a presença de granizo. Além disso, a análise de várias propriedades, como a intensidade do sinal de retorno, o tempo de viagem do pulso e a polarização da luz refletida e os padrões de interferência ondulatória, permitem determinar características adicionais sobre as partículas de granizo, como tamanho e distribuição, os quais não serão abordados neste teste inicial.

Esses sensores de radar a bordo de satélites como os utilizados no programa GPM são projetados especificamente para detectar e caracterizar diferentes tipos de precipitação, incluindo granizo, ajudando a melhorar nossa compreensão dos padrões climáticos e aprimorar a previsão do tempo. O GPM adotou pela primeira vez um sistema de observação por radar de dupla frequência. As resoluções temporais e espaciais são de até, respectivamente, de 0,25 h e  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ .

No QGIS, utilizando-se o plug-in *Raster Calculator*, foi gerada a partir dos produtos dos acumulados diários os produtos totais mensais, com o propósito de obter os valores acumulados locais em um único mês, e, posteriormente, no ano analisado. Em seguida os valores obtidos em  $\text{kg.m}^{-2}$  (quilograma por metro quadrado) formaram uma matriz digital para extrair os padrões espaço-temporais da precipitação sólida ao longo da área de interesse. Com isso, foi obtido o valor de precipitação de granizo acumulada no período analisado. Essa precipitação acumulada, diária, foi convertida em pontos de presença.

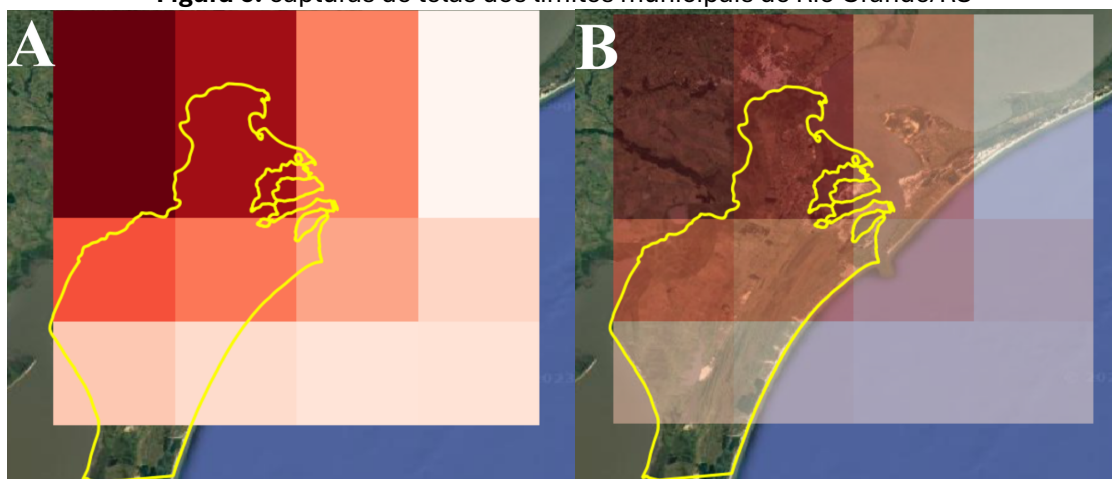
Os pontos de presença consistem em agrupar os valores que estavam associados ao *raster* em vetores pontuais. Diante disso, foi possível gerar uma análise de densidade espacial kernel, permitindo determinar as áreas de maior e/ou menor incidência desse fenômeno ao longo do período. Segundo Carnaúba (2021, p.13), “o estimador de Kernel, é um método simplificado de se obter a estimativa de intensidade de um fenômeno por um valor de área”. A densidade, então, foi calculada a partir do agrupamento de pontos em um raio de distância já determinado pelo *pluggin* ‘Mapa de Calor’ utilizado no QGIS. O produto cartográfico final também foi elaborado no QGIS através do método de graduação por cores. Quanto mais próximo do vermelho, maiores são os valores de concentração de  $\text{kgm.m}^2$  no interior da nuvem e quanto mais próximo do branco, menores são as concentrações.

#### 4. RESULTADOS

O ensaio inicial gerado a partir da proposta metodológica apresentada, buscando a extração do acumulado de precipitação sólida anual, apresentou sete pixels compreendendo quase totalmente a área territorial do município do Rio Grande. O município possui uma extensão de área de 2.682,867  $\text{km}^2$ , como já mencionado

anteriormente, e cada pixel possui uma extensão 11,1 km, ou seja, trata-se então de uma área de estudo consideravelmente pequena para determinar de forma mais pontual a quantificação do granizo em nuvem, pois abrange extensão territorial muito longa (Figura 6). A abrangência espacial da ocorrência de fenômenos de granizos pode variar entre 1 km a 2 km de largura e entre 10 km e 20 km de extensão, podendo atingir dezenas de km as vezes.

**Figura 6:** capturas de telas dos limites municipais de Rio Grande/RS



**Fonte:** Gautério, 2024

A Figura 6 apresenta, através da captura de tela do QGIS e da imagem do Google Satélite ao fundo, duas imagens que representam a captura de tela mostrando o limite municipal de Rio Grande/RS (limite em amarelo), com a sobreposição dos pixels coletados e processados (Imagem A). A imagem B (à direita) apresenta a mesma proposta de sobreposição, porém com 50% de transparência para visualização das localidades do município (Gautério, 2024). A matriz da qual foi recortada é de um universo maior (globo inteiro), para os limites e áreas adjacentes do município do Rio Grande. Nela, percebe-se que a parte mais ao sul do município não foi contemplada, porém foi estimada a partir da densidade de Kernel utilizada. Através dessa figura, percebe-se que a cobertura espacial para a área municipal apresentada é superficial para compreender os valores em nuvem especificamente onde causa danos, na parte urbana e nos cultivos agrícolas rurais. Majoritariamente, a concentração urbana do município está localizada no pontal que adentra a laguna dos patos e no Balneário Cassino defrontante ao Oceano Atlântico, ao todo, essas áreas foram contempladas com 4 pixels.



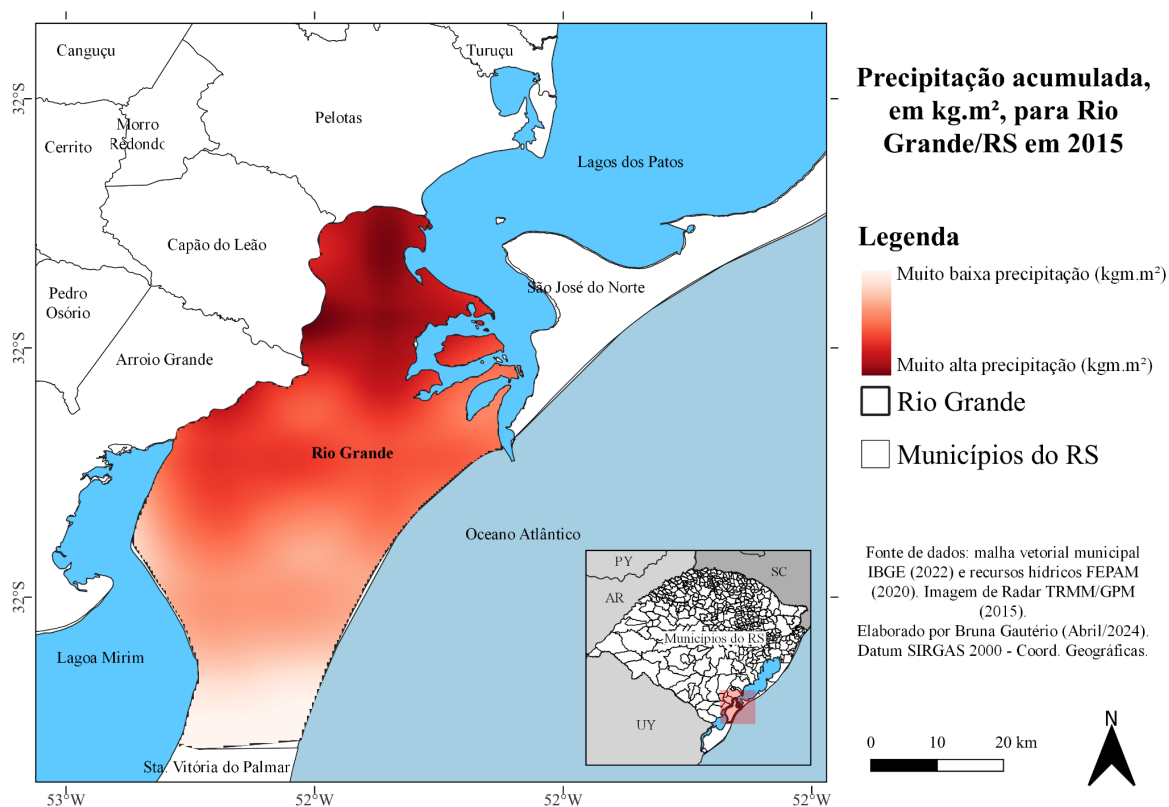
Os resultados estatísticos do cruzamento entre as estimativas das áreas de alto potencial de precipitação de granizo, os históricos documentados desses eventos, os quais não fazem parte desse trabalho, porém podem ser encontrados nos relatórios do Sistema Nacional de Desastres Naturais, apontaram uma alta correlação para a ferramenta ( $R^2 > 94\%$ ) para precipitação diária na escala de grade. Como visto na Figura 7, indicando melhor consistência com os dados de referência.

A Figura 7, apresenta a espacialização do acumulado de precipitação de granizo ao longo de 2015 através da densidade de Kernel. Para auxiliar na compreensão do mapa, leia-se as cores mais quentes (vermelhas) correspondentes à máxima presença de  $\text{kgm.m}^2$  de granizo no interior da nuvem, já as cores mais frias (próximas ao branco), correspondem aos menores valores acumulados de granizo ao longo da janela temporal. As estatísticas de densidade espacial apresentam alta incidência para o extremo norte do município, correlacionado com a transição orográfica de ventos oriundos da serra de Camaquã/Pelotas e o aporte de umidade e calor do canal São Gonçalo e seus baixos.

Ressalta-se que ao coletar os produtos de netCDF, estão agrupados os valores de precipitação sólida, ou seja, neve e/ou granizo. Com isso, o tipo de precipitação sólida identificada para a área de estudo caracteriza-se pelo granizo diante dos registros de danos em solo e pelas latitudes de localização do município, em que a presença de neve não é característica.

Os menores valores encontrados estão dispostos na zona rural do município e estão relacionados ora à ausência do pixel na parte mais ao sul do município, ora a variabilidade da presença do acúmulo de granizo. O parecer técnico emitido pela Secretaria de Município de Infraestrutura (SMI) da Prefeitura Municipal do Rio Grande - PMRG (2015), especificamente nos episódios de granizo que ocorreram nos dias 21 e 23 de setembro, apontou que o meio rural sofreu com danos causados por transbordamentos de arroios e banhados. Eles causaram avarias nas vias rurais não pavimentadas, em decorrência dos mais de 200 milímetros de precipitação por chuva que ocorreram após a granizada.

**Figura 7:** Densidade da distribuição do acumulado anual da precipitação sólida para o Rio Grande/RS em 2015



**Fonte:** Autora, 2024.

Diante do mapa exposto na Figura 7, a tonalidade mais suave, a qual compreende os menores valores, apresentou como o menor valor encontrado  $0,12 \text{ kg.m}^2$  e a tonalidade mais forte apresentou  $0,59 \text{ kg.m}^2$  como o valor mais elevado. A concentração dos valores mais elevados estão distribuídos no extremo norte do município, o qual contempla também porções rurais. Porém, há a presença de urbanidades nas vilas conhecidas como Quinta e Povo Novo, as quais situam-se nessa região do município, e que consequentemente também sofreram com os danos associados. Usando ainda como referência as granizadas de setembro de 2015, o meio urbano de Rio Grande também sofreu avarias em suas vias e no sistema de drenagem (PMRG, 2015).

Diante do exposto, é necessário compreender que o granizo apesar de ser identificado no interior da nuvem, ele varia em tamanho e peso dependendo das condições de convecção no interior da nuvem de tempestade. Geralmente em tempestades destrutivas o grão de gelo apresenta tamanhos que variam entre 1,5 a 2,0 cm de diâmetro, podendo atingir 10 cm em casos de eventos extremos severos. Eventos danosos podem ser sentidos a partir de granizos com tamanho de 2,0 cm e dependendo

da velocidade de queda e dos fortes ventos associados e com isso, podem ser notificados no sistema nacional.

A ausência de uma rede de observação e quantificação do granizo em solo, especialmente em Rio Grande, impossibilitou entender o tamanho e o peso dos episódios de granizo identificados ao longo de 2015. O máximo que se tem são os relatos falados pelos moradores e os registrados pelos veículos de comunicação sobre como eram as pedras, os tamanhos dos buracos deixados em telhados (Figura 3 à esquerda) e o tempo médio de duração da precipitação. Essas informações são relevantes de serem registradas de maneira técnica adequada, pois Rio Grande apesar de não ser o município mais afetado pelo granizo no RS, pode sofrer com episódios destrutivos semelhantes no futuro e a partir do momento em que se conhece as avarias já resultantes de eventos anteriores, é possível traçar planos preventivos para a população local.

De acordo com a SMI da PMRG (2015), só dos danos causados em setembro de 2015, o município necessitou de R\$ 21.360.321,05 para recuperar as vias urbanas e rurais do município e restabelecer o sistema de transporte. No mesmo período, a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural - EMATER (2015), levantou um prejuízo econômico de R\$ 4.350.000,00 em perdas envolvendo o cultivo de cebolas, morango e outros cultivos, bem como, na produção de leite. Os danos identificados pela Secretaria de Município de Saúde (PMRG, 2015), estimaram em R\$ 56.935,00 o valor para reparo nas estruturas das instalações públicas. Diante do exposto, entende-se que os eventos de granizo destrutivos associados aos altos índices pluviométricos são extremamente danosos aos moradores locais e à infraestrutura geral do município. Então, utilizar aparatos de SR que permitem repensar maneiras de não onerar os cofres públicos e não causar danos humanos/materiais particulares são essenciais para mitigar os cenários decorrentes.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados apresentados, indica-se que o ensaio inicial para a extração do acumulado de precipitação sólida anual demonstrou limitações devido à área de estudo e os produtos de radar abrangerem uma extensão territorial e escala espacial extensas em relação à escala dos fenômenos de granizo. Embora tenha sido observada uma alta correlação entre as estimativas das áreas de alto potencial de precipitação de granizo e os históricos documentados desses eventos, é importante

considerar a necessidade de refinamento da coleta de dados para uma quantificação mais precisa, especialmente em áreas onde a ocorrência de granizo pode variar significativamente em termos de tamanho e densidade.

Outro aspecto importante é considerar que os produtos destacaram uma alta incidência de eventos de granizo no extremo norte do município, correlacionado com fatores orográficos e influências do microclima local. A análise da espacialização da precipitação acumulada revelou uma distribuição variada, com diferentes degrados de valores, representando os acumulados de massa de granizo em  $\text{kg.m}^{-2}$ . No entanto, é importante ressaltar que o peso exato de cada grão de granizo varia de acordo com seu tamanho e densidade, o que requer uma compreensão mais aprofundada das características específicas do fenômeno.

Desta forma, ratifica-se a relevância de uma abordagem multidisciplinar e aprimorada para o estudo e a previsão de eventos de granizo, levando em conta não apenas os aspectos meteorológicos, mas também as características topográficas e as condições de convecção atmosférica. Essa análise mais detalhada pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de riscos e para a proteção de comunidades vulneráveis a danos causados por tempestades de granizo. Adicionalmente, os prejuízos econômicos também terão reflexo direto, pois um cenário calculado e preparado para um evento, previne a oneração de gastos e também de destinação estimada adequada de Itens de Assistência Humanitária e em prestação de socorro.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVES, C. A.; MORAIS, M. V. B. de. Sensibilidade do Sensor de Intensidade Sonora para Detecção de Granizo. **REGRAD**. UNIVEM: Marília - São Paulo, v. 11, n. 1, 2018, 16-27 p.
- BRASIL. **Decreto Nº 10.593, de 24 de dezembro de 2020**. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. 2020.
- CARNAÚBA, E. A. A. **Uso do Modelo de Densidade de Kernel para uma Análise de Casos de Dengue na Cidade de Fortaleza**. [Trabalho final para a disciplina de Introdução ao Geoprocessamento], São José dos Campos: INPE, 2021, 1-24 p.
- CASTRO, A. L. C. de. **Manual de Planejamento em Defesa Civil - Volume I**. Ministério da Integração Nacional e Secretaria de Defesa Civil: Brasília - BR, 2015, 69 p.



CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais:** Brasil - 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. - Florianópolis: CEPED UFSC, 2013a, 126 p.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais:** Rio Grande do Sul - 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. - Florianópolis: CEPED UFSC, 2013b, 184 p.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural. **Laudo de perdas por ocorrência de precipitação pluviométrica intensa e granizo no município do Rio Grande.** Esc. Municipal EMATER/RS - ASCAR, 2015, 2 p.

GALDINO, J. Sistema WEB para Gerenciamento de Dados sobre Chuvas de Granizo. **Monografia de Especialização** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Campus Londrina, 2015, 46 p.

GAUTÉRIO, B. C.; MAIER, E. L. B. Caracterização socioeconômica da precipitação de granizo em Rio Grande/RS: um estudo de caso sobre a granizada em setembro de 2015 e seus efeitos. **Revista GeoUECE**, v.10, n.18, 2021, 135-152 p.

GZH. **Chuva, granizo e vento forte espalham estragos pelo RS.** 2015. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2015/09/chuva-granizo-e-vento-forte-espalham-estragos-pelo-rs-4848997.html>. Acesso em: 14 nov 2024.

IBGE. **Panorama Cidades** - Rio Grande. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/rio-grande/panorama>. Acesso em: 20 Abr 2024.

IPCC. *Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)].* IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

KRUSCHE, N.; SARAIVA, J.M.; REBOITA, M. **Normais climatológicas provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS.** Rio Grande: editora UFSM, 2002.

LIU, J., et al. *Evaluation of GPM and TRMM and Their Capabilities for Capturing Solid and Light Precipitations in the Headwater Basin of the Heihe River.* **Atmosphere** 2023, 14, 453. <https://doi.org/10.3390/atmos14030453>

PMRG - Prefeitura Municipal do Rio Grande. **Parecer Técnico 1-10-15 - Danos Causados Por Evento Climático.** Secretaria de Município de Infraestrutura - SMI: Rio Grande, RS, 2015, 3 p.

RBS TV. **Tempo: bombeiros confirmam queda de granizo em Rio Grande, no sul do RS.** 2015. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/4231425/>. Acesso em: 14 nov 2024.

STRAHLER, A.N. **Physical Geography.** 3d., New York: John Willey, p. 13-66, 1969.

S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. **Atlas Digital de Desastres no Brasil:** pesquisa no Rio Grande do Sul sobre ocorrência de granizo entre os anos de 2013 e 2024. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/mapa-interativo.xhtml>. Acesso em: 14 nov 2024.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Versão digital. Recife. PE. Brasil. 2005.

## **METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR IDENTIFYING HAIL INSIDE CLOUDS USING WEATHER RADAR REMOTE SENSING**

### **ABSTRACT**

Destructive hailstorms associated with strong winds and high rainfall levels cause material, human, economic and environmental damage all over the world. Climate change tends to intensify these episodes and in future scenarios hailstorms will be increasingly destructive and consequently more damaging to the most vulnerable populations and local infrastructure. With this in mind, we sought to identify hail grains inside clouds using active remote sensing by weather radar. A case study was carried out for 2015 in the municipality of Rio Grande/RS, with the collection of accumulated hail values, in kilo-grams per square meter, from the Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) of the Global Precipitation Measurement (GPM) satellite. Together with official documents proving that hail fell on the ground in the respective year. Kernel density was applied to understand the spatialization of the phenomenon within the boundaries of Rio Grande. It was concluded that the coverage of the product in pixels is superficial for analyzing the accumulation of hail in the area of the municipality. The highest concentrations of hail accumulation were identified in the far north of the municipality, correlated with the orographic transition of winds from the Camaquã/Pelotas mountains and the contribution of humidity and heat from the São Gonçalo channel and its lows.

**Key Words:** Disasters; Geotechnologies; TRMM; GPM; Harm.

## **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE GRANIZO DENTRO DE NUBES MEDIANTE TELEDETECCIÓN POR RADAR METEOROLÓGICO**

### **RESUMEN**

Las destructivas tormentas de granizo asociadas a fuertes vientos y elevados niveles de precipitaciones causan daños materiales, humanos, económicos y medioambientales en todo el planeta. El cambio climático tiende a intensificar estos episodios y, en escenarios futuros, las tormentas de granizo serán cada vez más destructivas y, en consecuencia, más dañinas para las poblaciones más vulnerables y las infraestructuras locales. Teniendo esto en cuenta, se buscó identificar los granos de granizo dentro de las nubes mediante teledetección activa por radar meteorológico. Se realizó un estudio de caso para 2015 en el municipio de Rio Grande/RS, con la recolección de valores acumulados de granizo, en kilogramos por metro cuadrado, a partir del *Dual-frequency Precipitation Radar* (DPR) del satélite *Global Precipitation Measurement* (GPM). Junto con los documentos oficiales que prueban que cayó granizo sobre el terreno en el año correspondiente. Se aplicó la densidad Kernel para comprender la espacialización del fenómeno dentro de los límites de Rio Grande. Se concluyó que la cobertura del producto en píxeles es superficial para analizar la acumulación de granizo en el municipio. Las mayores concentraciones de acumulación de granizo fueron identificadas en el extremo norte del municipio, correlacionadas con la transición orográfica de los vientos de las sierras de Camaquã/Pelotas y el aporte de humedad y calor del canal de São Gonçalo y sus bajas.

**Palabras Clave:** Desastres; Geotecnologías; TRMM; GPM; Daño.

Recebido em: 03/12/2024  
Aceito em: 19/09/2025